



Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 58/2019

## Metsämaan muokkaus

Kirjallisuuskatsaus maanmuokkauksen vaikutuksista  
metsänuudistamiseen, vesistöihin sekä ekologiseen ja sosiaaliseen  
kestävyyteen

Tiina Laine, Jaana Luoranen ja Hannu Ilvesniemi (toim.)

# Metsämaan muokkaus

Kirjallisuuskatsaus maanmuokkauksen vaikutuksista  
metsänuudistamiseen, vesistöihin sekä ekologiseen ja sosiaaliseen  
kestävyyteen

Tiina Laine, Jaana Luoranen ja Hannu Ilvesniemi (toim.)

Viittausohje:

Laine, T., Luoranen, J. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2019. Metsämaan muokkaus : kirjallisuuskatsaus maanmuokkauksen vaikutuksista metsänuudistamiseen, vesistöihin sekä ekologiseen ja sosiaaliseen kestävyYTEEN. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 58/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 83 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Saksa, T. 2019. Maanmuokkauksen historia ja kehitys. Julkaisussa: Laine, T., Luoranen, J. & Ilvesniemi, H. (toim.). Metsämaan muokkaus : kirjallisuuskatsaus maanmuokkauksen vaikutuksista metsänuudistamiseen, vesistöihin sekä ekologiseen ja sosiaaliseen kestävyYTEEN. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 58/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 8–9.

Tiina Laine, ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-6448-8274>



ISBN 978-952-326-812-8 (Painettu)

ISBN 978-952-326-813-5 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-813-5>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Tiina Laine, Jaana Luoranen ja Hannu Ilvesniemi (toim.)

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2019

Julkaisuvuosi: 2019

Kannen kuva: Katri Himanen/Luke

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

# Tiivistelmä

Tiina Laine, Jaana Luoranen ja Hannu Ilvesniemi (toim.)

Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000, [www.luke.fi](http://www.luke.fi)

Metsänomistajat ja muut metsien tuotteita hyödyntävät toimijat asettavat metsille ja niiden käyttöle erilaisia tavoitteita. Ne vaikuttavat siihen, millainen metsänkäsittelemenetelmä ja uudistamisen yhteydessä tehtävä maanmuokkausmuoto valitaan. Suurin osa suomalaisista metsistä on talousmetsiä, joissa maanomistajan tavoitteena on kasvattaa taloudellisesti kannattavasti puuta kaupallisille markkinoille. Uuden puuston aikaansaaminen luontaisesti tai viljellen uudistamishakkuun jälkeen on keskeinen metsätalouden kestävyden elementti. Maanmuokkauksen tavoitteena on aikaansaada nopeasti hyvä uudistamistulos ja merkittävä kilpailuetu muuhun kasvillisuuteen. Muokkauksella edesautetaan syntyvän puuston tasaista tilajärjestystä ja pienennetään kehittyvään puustoon kohdistuvia tuhoriskejä. Näin varmistetaan, että uudistettavan alueen tuotoskyky hyödynnetään täysimääräisesti.

Metsämaan muokkauksen historian voidaan ajatella alkaneen jo kaskiviljelyksen aikakautena. Varsinaisesti maanpinnan käsittely metsänuudistamisen edistämiseksi alkoi kulotuksen laajetessa 1950–1960-luvuilla. Mekaaninen maanmuokkaus korvasi kulotuksen 1960-luvun alkupuolella, ja tämän seurauksena muokatun metsämaan kokonaispinta-ala on tällä hetkellä jo noin 6 miljoonaa hehtaaria. Mekaanisen maanmuokkauksen alkuaikoina käytettiin maanpintaa syvältä ja laajalta alalta rikkovaa aurausta. Nykyisin tavoitteena on valita kohteen maalaji, topografia ja uudistettava puulaji huomioon ottava menetelmä, jossa rikotaan maanpintaa mahdollisimman vähän, mutta joka kuitenkin takaa uuden puusukupolven nopean ja varman alkukehityksen. Turvemaiden uudistamiskohteilla kasvupaikan vesitalouden hallinta on taimien menestymisen kannalta erityisen olennaista, ja maanmuokausmenetelmä valitaan siten, että taimet eivät kärsi liian korkean vedenpinnan aiheuttamasta haettomuudesta.

Maanmuokkaus parantaa selvästi siementen itämistä ja istutustaimien elossa säilymistä ja kasvua sekä kivennäis- että turvemaiilla. Uudistamishakkuun jälkeen valon lisääntyminen lisää pintakasvillisuuden kilpailua heinittymiselle alttiilla kohteilla. Maanmuokkauksen positiiviset vaikutukset istutustaimien alkukehitykseen tulevat ennen muuta siitä, että se vähentää pintakasvillisuuden kilpailua ja erityisesti istutustaimien kuolleisuutta aiheuttavia tukkimiehentäin tuhoja. Maanmuokkaus helpottaa myös taimien istutusta ja nopeuttaa taimien juurtumista. Kylvössä maanmuokkaus edistää siementen itämistä. Kohteelle oikein valitulla ja huolellisesti toteutetulla maanmuokkauksella voidaan myös varmistaa jalostetun metsänviljelymateriaalin tuottama 10–40 % kasvun lisäys. Taloudellisessa mielessä maanmuokkaus on investointi, joka nostaa tulevan metsän hakkuutuloja ja lyhentää kiertoaikaa puuston paremman kasvun seurauksena.

Uudistamishakkuun jälkeen maan kosteus lisääntyy, koska puuston kautta tapahtuva haihdutus vähenee. Samanaikaisesti kasvupaikalle syntyy paljon kuollutta orgaanista ainesta, josta vapautuu ravinteita kasvillisuuden käyttöön. Tämä lisää myös vesistökuormitusriskiä, mutta tehtyjen mittausten perusteella uudistamishakkuun ja maanmuokkauksen vaikutukset ravinteiden huuhtoutumiseen ovat kivennäismaakohteilla kuitenkin olleet melko pieniä ja lyhytaikaisia. Muokatulta maalta vapautuu ravinteita enemmän kuin muokkaamattomalta, mutta huuhtoumat ovat pieniä, koska maa ja kasvillisuus pidättävät ne. Turvemaiilla tilanne on ongelmallisempi. Niillä valumavesien ravinne- ja kiintoainespitoisuudet ovat moninkertaisia kivennäismaihin verrattuna. Vesistövaikutuksia voidaan vähentää riittävästi suojavyöhykkeillä ja käyttämällä muita vesiensuojelumenetelmiä.

Uudistamishakkuu vapauttaa kasvutilaa muille kasveille. Sen seurauksena kasvillisuuden lajisto muuttuu ja esimerkiksi erilaisten heinien, horsman ja vadelman määrä lisääntyy voimakkaasti. Maanmuokkauksen pitkäaikaisvaikutuksia kasvillisuuteen on vaikeampi todentaa, mutta tiedetään, että maanmuokkaus haittaa mm. varpukasvillisuutta. Yleisesti ottaen boreaalinen metsäkasvillisuus toipuu kuitenkin muokkauksesta hyvin. Maanmuokkausmenetelmän valinta ja huolellinen toteutus voivat vähentää näitä haittoja. Puuston varttuessa sen aiheuttama valo- ja ravinnekilpailu joka tapauksessa muuttavat pintakasvillisuuden määrää ja lajisuhteita voimakkaasti.

Maanmuokkaus voi vahingoittaa myös maalahopuita ja niillä elävää lajistoa. Lahopuilla elävät lajit muodostavat merkittävän osan metsäkasvillisuuden, sienten ja hyönteisten monimuotoisuudesta. Hyvällä suunnittelulla, oikean muokkausmenetelmän valinnalla ja riittävällä kuljettajien ohjeistuksella lahopuiden pilkkoutumista maanmuokkauksen yhteydessä voidaan vähentää merkittävästi.

Maanmuokkauksen maisemavaikutukset kestävät muutaman vuoden. Tämän koetaan heikentävän muokatun alan esteettistä arvoa ja miellyttävyyttä matkailukäytössä, joskin tutkimusta asiasta on hyvin vähän, ja tehdyt tutkimukset eivät koske nykyisiä muokkausmenetelmiä, jotka ovat selvästi vähemmän maanpintaa rikkovia kuin vuosikymmenten takaiset. Maanmuokkaus koetaan ongelmallisena myös marjastuksen näkökulmasta. Sosiaalisen kestävyuden arviointi on haastavaa, sillä tutkittavan henkilön sidosryhmä vaikuttaa siihen, mitä pidetään kestäväenä. Jo pelkästään yli 600 000 yksityismetsänomistajaa tekevät omia valintojaan ja kaikki painottavat metsiensä käytössä hieman erilaisia asioita. Lisäksi muilla kuin metsänomistajille voi olla hyvin erilaiset näkemykset maanmuokkauksen vaikutuksista.

Maanmuokkauksen vaikutukset metsien hiilinieluihin ja hiilivarastoihin ilmenevät erityisesti uuden puusukupolven lisääntyneen kasvun kautta. Viimeisten vuosikymmenien aikana metsien uudistamisen yhteydessä toteutetut maanmuokkaukset ovat olleet tärkeä osa valtakunnan metsien inventoinnissakin todettua onnistunutta metsien uudistamista. Hyvä uudistamistulos ja sen seurauksena syntyneet täystiheät ja hyvin kasvavat metsät ovat myös keskeinen osa metsiämme viimeisten 60 vuoden aikana noin kaksinkertaiseksi lisääntynyttä kasvua (hiilinielu) ja noin miljardilla kuutiometrillä lisääntynyttä puuvarastoa (hiilivarasto). Samalla kun puusto kasvaa nopeammin, myös maahan tulevan karikkeen määrä kasvaa. Tulevaisuudessa hiilinielun jatkuva ylläpito ja fossiilisten raaka-aineiden korvaamiseen tarvittavan uusiutuvan puuperäisen raaka-aineen saatavuuden varmistaminen edellyttävät, että metsänuudistamisen onnistumisesta huolehditaan jatkossakin ja tässä maanmuokkauksella on tärkeä rooli.

Asiasanat: Maanmuokkaus, istutus, kylvä, luontainen uudistaminen, kivennäismaa, turvemaa, hiilinielu, vesistövaikutus, monimuotoisuus

# Sisällys

<b>1. Johdanto .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Maanmuokkauksen historia ja kehitys .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Maanmuokkaus osana metsänuudistamisketjua .....</b>	<b>10</b>
3.1. Maanmuokkauksen määritelmä .....	10
3.2. Maanmuokkausmenetelmät.....	10
3.2.1. Kivennäismaan pintaa paljastavat menetelmät .....	10
3.2.2. Kohoumia muodostavat menetelmät .....	11
3.2.3. Maanmuokkausmenetelmän valinta .....	12
3.3. Maanmuokkauksen yhdistäminen muihin työlajeihin.....	13
3.4. Maanmuokkauksen laadunhallinta.....	13
<b>4. Maanmuokkauksen vaikutukset taimien kasvuympäristöön .....</b>	<b>15</b>
4.1. Kosteusolosuhteet huomiotava muokkausmenetelmän valinnassa .....	15
4.2. Maan lämpötila kohoaa .....	16
4.3. Ravinteiden saatavuus paranee .....	17
4.4. Maan tiheys alenee.....	18
4.5. Maanmuokkaus torjuu pintakasvillisuuden kilpailua.....	18
4.6. Taimi- ja siementuhot .....	18
4.6.1. Maanmuokkaus vähentää tukkimiehentäin tuhoja .....	18
4.6.2. Muokkauksen vaikutukset muihin eläintuhoihin vaihtelevat .....	20
4.6.3. Maanmuokkauksen vaikutuksista juurikäpään ristiriitaisia tuloksia .....	21
4.6.4. Maanmuokkauksen vaikutukset halla-, rouste- ja ahavatuhoihin .....	22
<b>5. Maanmuokkaus parantaa itämistä, kasvua ja elossa oloa .....</b>	<b>25</b>
5.1. Itäminen moninkertaista muokatussa maassa .....	25
5.2. Maanmuokkaus lisää luontaista taimiainesta viljelyaloilla.....	26
5.3. Maanmuokkaus lisää istutustaimien elossa oloa.....	27
5.4. Muokkaus voi kaksinkertaistaa kasvun.....	29
5.5. Muokatulla maalla istutustaimien juurtuminen nopeaa .....	30
5.6. Maanmuokkaus ja taimen koko.....	31
5.7. Viljely muokkaamattomaan maahan .....	32
<b>6. Maanmuokkaus turvemaidella .....</b>	<b>33</b>
6.1. Taimettumiseen vaikuttavat tekijät turvemaidella.....	33
6.2. Maanmuokkaus turvemaiden kylvössä ja luontaisessa uudistamisessa .....	34
6.3. Istutukseen soveltuvat muokkausmenetelmät turvemaidella .....	36
6.4. Myös alikasvoksia voi viljellä ilman muokkausta .....	37
6.5. Uudistamishakkuun ja muokkauksen jälkeiset kasvillisuuden muutokset .....	37

<b>7. Maanmuokkauksen kustannustehokkuus ja talousvaikutukset .....</b>	<b>39</b>
7.1. Maanmuokkaus investointina.....	39
7.2. Maanmuokkauksen ajanmenekki ja kustannukset.....	40
7.3. Vaikutukset muihin kustannuksiin .....	40
7.4. Maanmuokkauksen kannattavuus.....	41
<b>8. Maan ravinnetalous ja hiilitase kivennäismailla.....</b>	<b>44</b>
8.1. Maanmuokkaus ja orgaanisen aineen hajotus .....	44
8.2. Pitkällä aikajänteellä maanmuokkaus lisää metsäekosysteemin hiilivarastoa .....	44
8.3. Maanmuokkauksen vaikutus typen kiertoon .....	46
8.4. Rapautuminen on tärkeä osa tasapainoista ravinnetaloutta .....	47
8.5. Maanmuokkaus lisää rapautumista ja varmistaa puuston ravinteiden saatavuutta.....	48
<b>9. Maanmuokkauksen vaikutukset vesistöihin .....</b>	<b>50</b>
9.1. Miksi muokkaus lisää vesistökuormitusriskiä? .....	50
9.2. Kivennäismaalla muokkausalueen eri pinnat käyttäytyvät eri tavoin .....	50
9.3. Pintakasvillisuus pidättää tehokkaasti ravinteita.....	51
9.4. Maaperä pidättää ainehuhtoumia kivennäismailla .....	51
9.5. Kivennäismaiden uudistamisaloilta tulevan vesistökuormituksen suuruus .....	51
9.6. Elohopea .....	53
9.7. Turvemaiden uudistamisen vaikutus vesistökuormitukseen.....	53
<b>10. Maanmuokkauksen vaikutus aluskasvillisuuteen, lahoppumääriin ja lahoppuulla kasvavaan epiksyylilajistoon .....</b>	<b>55</b>
10.1. Maanmuokkauksen vaikutus metsien aluskasvillisuuteen .....	55
10.2. Maanmuokkauksen vaikutukset lahoppuustoon ja niillä kasvavaan lajistoon .....	56
<b>11. Maanmuokkauksen sosiaalinen kestävyys.....</b>	<b>58</b>
11.1. Metsien virkistys- ja matkailukäyttö .....	58
11.1.1. Vaikutukset marjakasveihin .....	58
11.1.2. Vaikutukset maisemaan .....	59
11.2. Yksityismetsänomistajien näkökulma.....	60
11.3. Työllisyys ja työsuojelulliset näkökohdat.....	61
11.4. Kestävyyden varmistaminen ja työkalut.....	61
<b>12. Johtopäätökset.....</b>	<b>62</b>
<b>Viitteet .....</b>	<b>65</b>

# 1. Johdanto

Katri Himanen ja Ville Kankaanhuhta

Uuden puuston aikaansaaminen hakattujen tilalle on keskeinen metsätalouden kestävyys elementti. Mekaanisen maanmuokkauksen menetelmät tähtäävät alueen oman puuston tuottamien tai kylvettyjen siementen itämisen sekä näiden ja istutettujen taimien kasvuunlähdon varmistamiseen. Suomessa on metsänkäyttöilmoitusten perusteella tehty 2010-luvulla uudistamishakkuita vuosittain 122 000–176 000 ha, joista avohakkuiden osuus on 82–86 %. Avohakkuiden lisäksi uudistamishakkuita ovat luontaiseen uudistamiseen tähtäävät hakkuut, lähinnä siemenpuuasennot. Maanmuokausala on samalla aikajaksolla ollut vuosittain 95 000–122 000 ha. Maanmuokkauksella tarkoitetaan maan pinnan rikkovia, usein kivennäismaan pintaa paljastavia mekaanisia menetelmiä. Yleisimmät muokausmenetelmät ovat tuoreilla kangasmailla mätästämisen sekä karumpien maiden äestys ja laikutus.

Koneellinen maanmuokkaus käynnistyi Suomessa laajamittaisesti 1950-luvulla. Muokausmenetelmät ovat muuttuneet ja niitä on kehitetty kuluneiden vuosikymmenien aikana työn tehokkuuden ja metsänuudistamistulosten parantamiseksi sekä ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Maanmuokkauksella voi olla vesistöjen tai metsälajiston monimuotoisuuden kannalta negatiivisia vaikutuksia ja metsien monikäytön merkityksen korostumisen seurauksena sen vaikutukset sosiaaliseen kestävyys-teen ovat nousseet tarkasteluun. Yhtenä argumenttina jatkuvaan kasvatukseen kehottavissa ulostuloissa on viime vuosina käytetty sitä, että jatkuvassa kasvatuksessa ei tarvittaisi maanmuokkausta.

Tässä artikkelissa kootaan yhteen tutkimustietoa maanmuokkauksen vaikutuksista metsiin ekologisesta, taloudellisesta ja sosiaalisesta näkökulmasta. Katsauksen tarkoituksena on tuoda esille maanmuokkauksen historiaa, kullekin kohteelle soveltuvimman maanmuokausmenetelmän valintaan liittyviä periaatteita, sekä maanmuokkauksen että muokkaamattomuuden vaikutuksia metsän uudistamiseen, maanmuokkauksen vaikutuksia uudistettavien alueiden kasvillisuuteen ja eläimistöön sekä vesi- ja ravinnetalouteen ja yhteyksiä muihin uudistettavan metsäalueen käyttöön liittyviin tarpeisiin.



## 2. Maanmuokkauksen historia ja kehitys

Timo Saksa

Metsämaan muokkauksen historian voidaan katsoa alkaneen useamman vuosisadan kestäneenä kaskiviljelyksen aikakautena, joka jatkui Itä-Suomessa 1900-luvun alkupuolelle (Kuva 1). Kasketulla alueella viljeltiin 3–4 vuoden ajan yleensä viljaa ja viimeiseen kylvökseen saatettiin lisätä myös metsäpuiden siementä kaskiahon metsittymisen jouduttamiseksi (Heikinheimo 1915). Kylvön yhteydessä maata muokattiin viljelytuloksen parantamiseksi karhella ja muilla kevyillä työkaluilla. Itä-Suomessa, kaskiviljelyksen vahvimalla alueella, jopa 75 % metsämaasta on arvioitu kasketun yhden tai useamman kerran (Heikinheimo 1915).



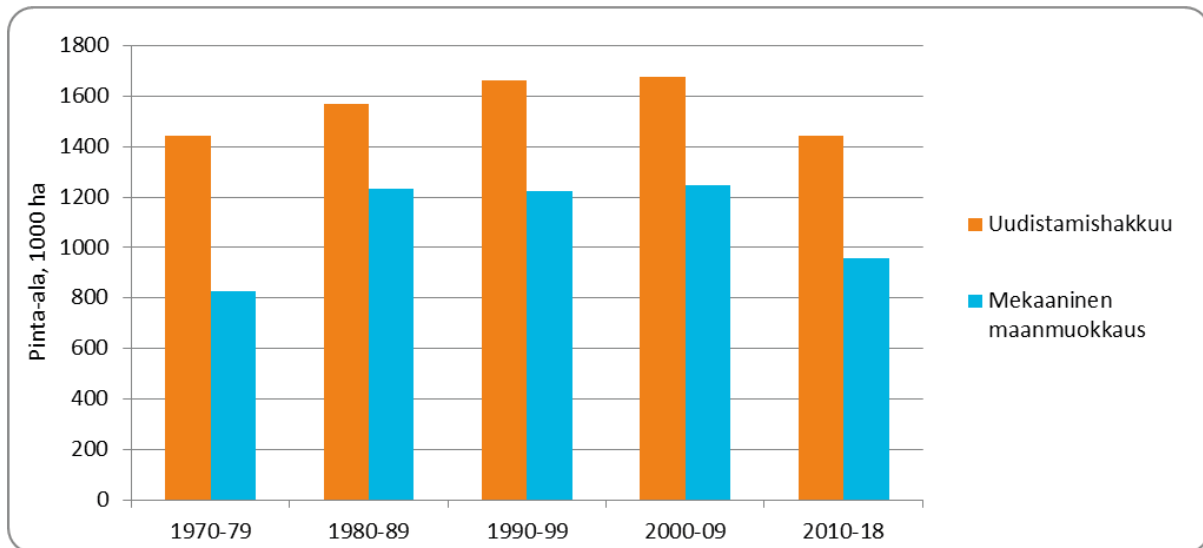
**Kuva 1.** Kaskiviljely oli ensimmäinen maanmuokkauksen tapa. Poltetun maapohjan tuhka muuttaa maan orgaaniseen ainekseen sitoutuneita ravinnevarastoja helpommin kasvien hyödynnettävissä olevaan muotoon. Kuva: Erkki Oksanen/Luke.

Varsinaisesti maanpinnan käsittely metsänuudistamisen edistämiseksi alkoi metsämaan kulotuksen laajetessa. Kulotuksen valtakaus ajoittui 1950–1960 -luvulle. Tuolloin vuosittainen kulotusala nousi laajimmillaan yli 30 000 hehtaariin. Kulotuksen yhteydessä maata muokattiin viljelykohdasta kevyillä työvälineillä. Kulotusala on ollut viimeisten 50 vuoden ajan pieni, 1000–2000 hehtaaria vuodessa, ja kulotuksen yhteydessä maanpinta on myös muokattu yleensä koneellisesti.

Mekaaninen maanmuokkaus korvasi kulotuksen 1960-luvun alkupuolella. Mekaaninen maanmuokkaus yleistyi ensin Pohjois-Suomessa, jossa soiden ojituksessa käytetyllä palleauralla aurattiin myös paksukunttaisia kivennäismaita uudistamistöiden helpottamiseksi (Pohtila 1977). Etelä-Suomessa mekaaninen maanmuokkaus yleistyi nopeasti 1970-luvun alussa TTS-metsä-äkeen tultua markkinoille (Heino ja Salakari 1972). Vuosittainen mekaanisen maanmuokkauksen ala kasvoi 1980-luvun alkuun mennessä 120 000 hehtaariin ja myöhemmin vakiintui 100 000 hehtaarin tasolle (Kuva 2). Tähän päivään mennessä yli 6 miljoonaa hehtaaria metsämaata on muokattu mekaanisesti metsänuudistamisen edistämiseksi. Metsämaan muokkaus on kohdistunut valtaosaltaan kangasmaihin, ja voidaan arvioida, että jo lähes kolmannes niistä on muokattu metsänuudistamista varten.

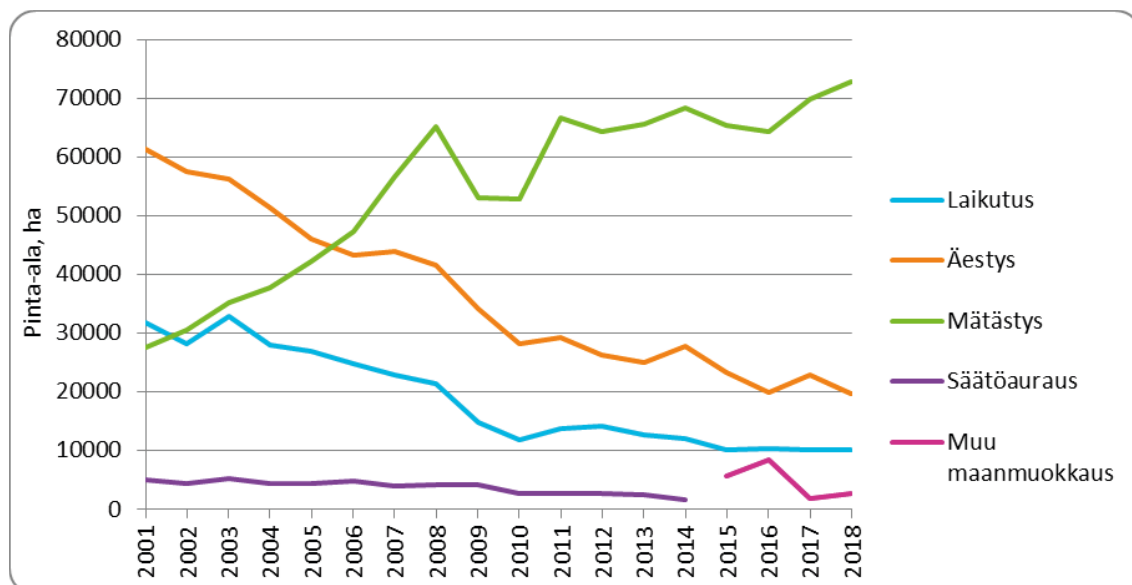
Vuosien 1980–2010 aikana tehtiin uudistamishakkuuta avohakkuina 3,7 ja siemen/suojuspuuhakkuina 1,3 miljoonaa hehtaaria, joista noin 3,7 miljoonaa hehtaaria on muokattu (Metsätilastollinen vuosi-

kirja 2014, Suomen virallinen tilasto 2019a). Näin ollen uudistamishakkuualasta muokattujen alojen osuus on ollut 75 %. Koska osa siemenpuu- ja erityisesti suojuspuuhakkuualoista on uudistettu muokkaamatta, voidaan muokattujen avohakkuualojen osuuden arvioida olevan nykyisin 90 %.



**Kuva 2.** Uudistamishakkuiden ja maanmuokkauksen kokonaispinta-alat viimeisten vuosikymmenten aikana (Metsätilastollinen vuosikirja 2014, Suomen virallinen tilasto 2019a).

Aluksi mekaaninen maanmuokkaus oli jatkuvan muokausjäljen tuottavaa auruusta tai äestystä (Kuva 3). Auraus loppui 1990-luvun alkupuolella säätöaurausta lukuun ottamatta. Äestysmäärät vähenivät 2000-luvun alussa kaivinkonepohjaisten muokausmenetelmien, ensin laikutuksen ja myöhemmin erilaisten mätätysmenetelmien, yleistyessä. Nykyään noin 70 % muokausalasta mätätetään, suurin osa kaivinkoneella. Jatkuvatoimista laikumätätäjää on käytetty Pohjois-Suomessa jo vuosikymmeniä. Viime vuosina sen käyttö on yleistynyt myös Etelä-Suomessa (Suomen virallinen tilasto 2019a).



**Kuva 3.** Muokausmenetelmien väliset muutokset 2000-luvulla. Vuodesta 2015 "Muu maanmuokkaus" on tilastoitu erikseen, johon myös säätöauraus kuuluu (Suomen virallinen tilasto 2019a).

## 3. Maanmuokkaus osana metsänuudistamisketjua

Tiina Laine, Juha Heiskanen ja Ville Kankaanhuhta

### 3.1. Maanmuokkauksen määritelmä

Mekaanisella maanmuokkauksella (jatkossa maanmuokkaus) tarkoitetaan maan pinnalla olevan orgaanisen kerroksen siirtämistä paikaltaan, sekoittamista kivennäismaahan tai erilaisten ympäristöään korkeampien kohoumien tekemistä (Örlander ym. 1990, Mälkönen 2003, Luoranen ym. 2007). Maanpintaa voidaan käsitellä myös muilla menetelmillä, kuten kulottamalla tai pintakasvillisuuden torjunnalla. Tässä yhteydessä käsittelemme vain mekaanista maanmuokkausta.

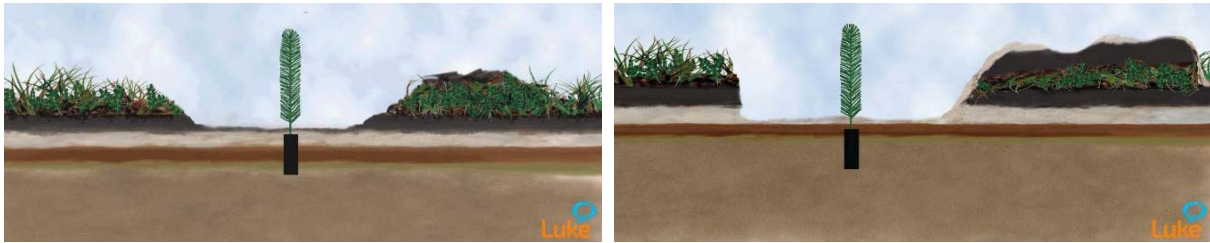
Maanmuokkaus on uudistamishakkuuta ja mahdollista uudistusalan raivausta seuraava toimenpide, on sitten kyse metsänviljelystä tai luontaisesta uudistamisesta. Maanmuokkaus on usein myös ensimmäinen toimenpide maatalousmaan tai turvetutantoalueen uudelleen metsityksessä. Yleisesti maanmuokkauksella tarkoitetaan kasvupaikan kunnostusmenetelmiä, joilla pyritään parantamaan uudistamishakkuun jälkeen uuden metsän kasvuedellytyksiä sekä helpottamaan metsänuudistamistöitä (Örlander ym. 1990, Mälkönen 2003). Maanmuokkauksen tavoitteena on varmistaa hyvä uudistamistulos koko maanmuokkaus-viljely-taimikonhoito -ketjussa.

### 3.2. Maanmuokkausmenetelmät

Maanmuokkausmenetelmät voidaan jakaa kivennäismaata paljastaviin ja kohoumia muodostaviin menetelmiin. Kivennäismaata paljastavien menetelmien päätavoite on parantaa siemenen itämisolosuhteita ja taimien kasvuoloja. Kohoumia muodostavien menetelmien tavoite on edistää istutustaimen kasvuoloja. Istutuskohdaksi tavoitellaan puhdasta kivennäismaan pintaa, mutta kylvökohteella muokkausjäljen pintaan voi jäädä hieman humusta. Kivennäismaan pintaa paljastavia menetelmiä ovat äestys ja laikutus. Kohoumia muodostavia menetelmiä ovat laikkumätästys, kääntömätästys, oja- ja naveromätästys sekä säätöauraus (Örlander ym. 1990, Sutton 1993, Luoranen ym. 2007). Kylvöön soveltuu maanmuokkausmenetelmäksi myös jyrsiminen, jossa sekoitetaan kivennäismaata ja humusta (Helenius ja Saarinen 2013).

#### 3.2.1. Kivennäismaan pintaa paljastavat menetelmät

Äestyksessä paljastetaan kivennäismaata sammal- ja humuskerroksen alta vetokoneen, yleensä kuormatraktorin, rungon takaosaan asennettavalla jatkuvatoimisella säädettävällä hydraulikäyttöisellä lautasauralla eli metsä-äkeellä (Kuva 4). Laikutuksessa maan pintaa rikotaan vain laikuittain kaivinkoneen (tai traktorikaivurin) kauhalla tai muokkauslevyllä, jolloin jatkuvaa uraa ei muodostu (Uusitalo 2003, Luoranen ym. 2007). Kylvössä ja luontaisessa uudistamisessa pyritään 4 000–5 000 taimen perustamistiheyteen. Tämä edellyttää vastaavaa määrää hyviä laikkuja. Äestyksessä vastaavan perustamistiheyden saavuttamiseen tarvitaan 4 000–5 000 metriä äesvakoa hehtaarille, olettaen taimien välimatkaksi yhden metrin. Istutettaessa laikkuja riittää n. 2200 kpl/ha (Luoranen ym. 2007, Luoranen ym. 2012, Äijälä ym. 2019).

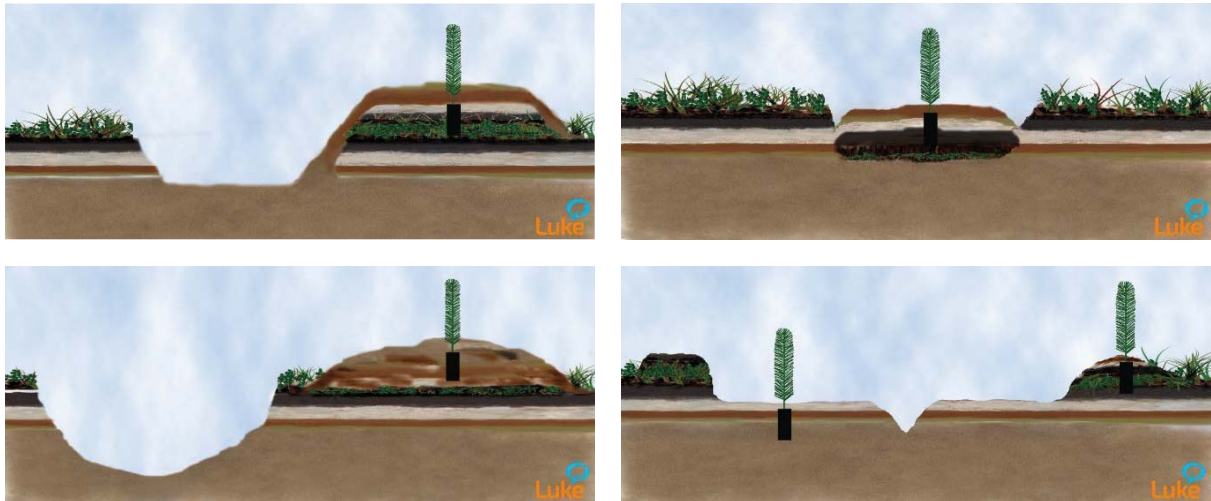


**Kuva 4.** Kivennäismaan pintaa paljastavat menetelmät äestys (vasemmalla) ja laikutus (oikealla). Äestyksessä taimi istutetaan 2–3 cm syvyyteen vaon keskelle, siemenet puolestaan kylvetään noin 10 cm päähän äesvaon reunasta. Laikutuksessa taimi istutetaan laikkuun vähintään 15 cm etäisyydelle laikun reunasta (Luoranen ym. 2007).

### 3.2.2. Kohoumia muodostavat menetelmät

Laikku-, kääntö-, navero- ja ojamätästys tehdään kaivinkoneen kauhalla, muokkauslevyllä tai nimenomaan mätästykseen soveltuvalla kauhalla (Uusitalo 2003, Luoranen ym. 2007). Vähäkivisillä, mutta ei märkyden vaivaamilla kohteilla, voidaan käyttää myös metsätraktoripohjaista jatkuvatoimista laikkumätästystä, jossa laikkumättäät syntyvät automaattisesti koneen liikkeessä (Saksa ym. 2018). Laikkumätäs tehdään kääntämällä maakuopasta humuskerros ja kivennäismaa ylösalaisin viereisen muokkaamattoman maan päälle mättääksi niin, että kivennäismaan alla on kaksinkertainen humuskerros (Kuva 5) (Örlander ym. 1990, Sutton 1993, Luoranen ym. 2007, Heiskanen ym. 2013). Kääntö- mätästyksessä humuskerros ja kivennäismaa käännetään samaan kohtaan ylösalaisin niin, että kivennäismaa jää pinnalle ja humuskerros jää alle. Näin muodostuu matala mätäs ilman kuoppaa mättään vieressä (Kuva 5) (Luoranen ym. 2007). Lievää kuivatusta vaativille kohteille soveltuu naveromätästys, jossa ojat ovat lyhyitä pätkittäisiä navero-ojia. Ojitusmätästystä käytetään veden vaivaamilla mailla vesitalouden järjestelemiseksi. Ojamätäs tehdään pudottelemalla ojasta kaivettua maata ojan viereiselle koskemattomalle maalle (Kuva 5). Paksaturpeisilla kohteilla paras mätäs saadaan mururakenteisesta pintaturpeesta (Luoranen ym. 2007). Mätästyksessä tavoitteena on noin 1800 mätästä hehtaarille, mutta se voi olla 200 kpl suurempi tai pienempi. Mättääseen istutetaan yksi taimi (Luoranen ym. 2007, Luoranen ym. 2012, Äijälä ym. 2019). Mätäs voidaan tehdä myös jyrsimällä (esim. Ecoplanter istutuskone), jossa kivennäismaa ja humus sekoitetaan tiivistymättömäksi keoksi (Luoranen ym. 2011).

Erityisesti Pohjois-Suomen korkeilla, paksukunttaisilla, tiiviillä ja viljavilla mailla on käytössä säätöaura (Kuva 5). Nykyinen säätöaura (vaotus) on vanhaa oja-aurausta hienovaraisempi menetelmä. Se muistuttaa piennaraurausta, jossa kivennäismaa käännetään metsäauralla palteiksi, jolloin palteen ja vaon väliin jää kivennäismaapintainen piennar. Säätöaurauksessa ei aina synny palleauraukselle tyypillistä kohoumaa, joka sisältäisi kaksinkertaisen humuskerroksen (Luoranen ym. 2007). Auraussyvyyttä säädetään kohteen ominaisuuksien mukaan, mutta FSC-sertifiointi rajoittaa auraussyvyyden korkeintaan 25 senttimetriin (Suomen FSC-yhdistys 2011).

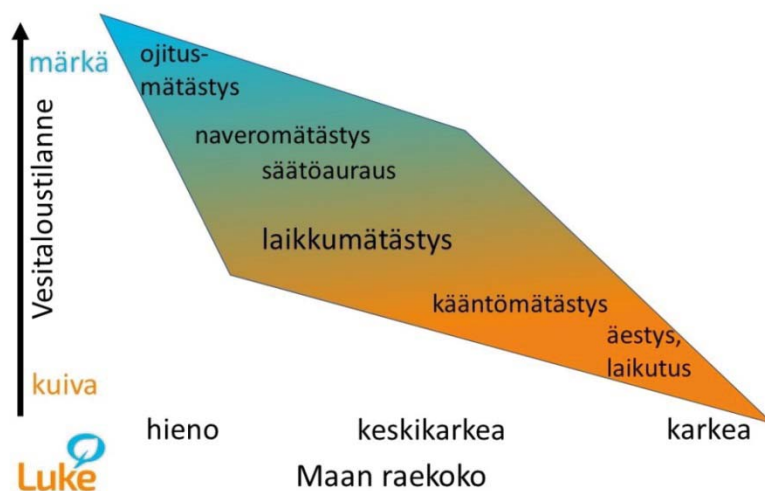


**Kuva 5.** Kohoumia muodostavat menetelmät laikkumätästys (ylhäällä vasemmalla), kääntömätästys (ylhäällä oikealla), ojitusmätästys (alhaalla vasemmalla) ja säätöauraus (alhaalla oikealla). Kaikissa mätästysmenetelmissä taimi istutetaan keskelle mätästä ns. syväistutuksena. (Luoranen ym. 2007).

### 3.2.3. Maanmuokkausmenetelmän valinta

Maanmuokkausmenetelmän valintaan vaikuttavat uudistettava puulaji, uudistamistapa sekä kasvupaikan viljavuus, maalaji ja topografia (Örlander ym. 1990, Mälkönen 2003, Luoranen ym. 2007) (Kuva 6). Tiivistetysti voi sanoa että, karuimmilla kasvupaikoilla käytetään kivennäismaan pintaa paljastavia menetelmiä – äestystä ja laikutusta, ja viljavilla kasvupaikoilla puolestaan kohoumia muodostavia menetelmiä – laikku- ja kääntömätästystä. Mikäli kohteella on tarvetta vesitalouden järjestelyille, käytetään navero- tai ojitusmätästystä. Säätöauraus soveltuu Pohjois-Suomen korkealla sijaitseville, verraten viljaville tiivispohjaisille ja paksukunttaisille kivennäismaille, kun istutetaan mäntyä tai kuusta. (Luoranen ym. 2007, Luoranen ym. 2012).

Kohteen ominaisuudet vaikuttavat myös muokkausjälkien kokoon, siten että viljavammilla kohteilla jälkien on oltava suurempia kuin karuimmilla (Taulukko 1). Maalaji vaikuttaa laikku- ja ojamättäiden korkeuteen, siten että hienojakoisilla mailla mättäät ovat matalampia (Luoranen ym. 2007).



**Kuva 6.** Periaatekuva maanmuokkausmenetelmän valinnasta kivennäismailla uudistamishakkuun jälkeisen vesitaloustilanteen ja maan raekoon perusteella (hieno, keskikarkea, karkea) (mukailien Luoranen ym. 2007).

**Taulukko 1.** Eri maanmuokkausmenetelmillä tehtyjen muokkausjälkien koko (cm) sekä rikutun maanpinnan laskennallinen ja eri tutkimuksissa mitattu osuus (%), kun istutustiheys on 2000 kpl/ha (Luoranen ym. 2007).

Maanmuokkausmenetelmä	Leveys	Pituus	Korkeus	Rikutun maanpinnan osuus, %	
				Laskennallinen	Mitattu
Laikkumätäs	50 – 60	60 – 80	5 – 20*	19	25 <sup>a</sup> – 55 <sup>b</sup>
Kääntömätäs	50 – 60	60 – 80	0 – 5	10	51 <sup>b</sup>
Ojamätäs	50 – 60	60 – 80	5 – 20*	13	
Laikutus	60 – 70	60 – 70	-5...-10	10	
Äestys	60 – 80		-5...-10	27**	29 – 33 <sup>c</sup> , 50 <sup>a</sup>
Säättöauraus***	200 – 250		< -25	-	70 <sup>a</sup>

\* Hienojakoisilla 5–10 cm ja keskikarkeilla 15–20 cm

\*\* Äestyksessä rikutun maanpinnan osuus ei riipu viljelytiheydestä

\*\*\* Pohjois-Suomeen korkeille maille soveltuva maanmuokkausmenetelmä

<sup>a</sup> Mjöfors ym. 2017

<sup>b</sup> Hallsby ja Örlander 2004

<sup>c</sup> Karlsson ja Örlander 2000

### 3.3. Maanmuokkauksen yhdistäminen muihin työlajeihin

Kylvöistä suurin osa tehdään nykyään koneellisesti äestyksen tai jatkuvatoimisen laikutuksen yhteydessä (Suomen virallinen tilasto 2019a). Jatkuvatoimisessa muokkauksessa osa koneellisesti kylvetyistä siemenistä peittyy eri syvyydelle kivennäismaahan äkeen lautasten tai laikkurin terien liikuttaman maa-aineksen sekaan sekä myöhemmin sade-erosion seurauksena (Nygren ym. 2013). Pienialaisia kohteita muokataan ja kylvetään myös kaivinkoneella. Kaivinkonekylvössä laikun teko ja siementen kylvö ovat erillisiä työvaiheita, minkä seurauksena siemenet eivät peity kunnolla. Peittämättömät siemenet ovat alttiita siemensyönnille ja voimakkaalle haihdunnalle ja siten hitaalle itämiselle. Kaivinkonekylvöön on kehitetty seulakauha, jolla voidaan muokkauksen lisäksi kylvää ja peittää siemenet hallitusti sopivalle syvyydelle (Bergsten 1988, Helenius ja Sipilä 2016). Siementen peittäminen metsäkylvökauhalla parantaa huomattavasti orastumista (Pesonen 2019).

Koneellisessa istutuksessa maanmuokkaus (laikkumätästys) ja istutus on yhdistetty samaan koneeseen. Koneistutuksen osuus on alle 5 % kaikista uudistamistöistä (Laine ym. 2016). Koneellisen istutuksen laadun on todettu olevan jopa käsinistutusta parempi, mutta kustannuskilpailukyvyssä riittää vielä parannettavaa (Luoranen ym. 2011, Hallongren ym. 2014). Maanmuokkausta on myös yritetty yhdistää osaksi hakkuutähteiden korjuuta ja kantojen nostoa, mutta työjäljen on todettu olevan erillistä maanmuokkausta heikompi (Laitila ym. 2005, Saarinen 2006, Laitila ym. 2008, Rantala ym. 2010, Kärhä 2012).

### 3.4. Maanmuokkauksen laadunhallinta

Hyvin tehty muokkaustyö ei uudistamistuloksen näkökulmasta riitä, jos muokkausmenetelmä on valittu väärin, siksi maanmuokkauksen laadunhallinta alkaa oikealla menetelmävalinnalla (Lillrank 2003, Kankaanhuhta 2014). Väärä menetelmävalinta vaikuttaa koko metsänuudistamisketjun tulokseen ja kustannustehokkuuteen (Uotila ym. 2010). Väärään menetelmävalintaan voi johtaa metsänomistajan maanmuokkaukselle tai metsänuudistamiselle asettamat odotukset ja vaatimukset suh-

teessa kustannuksiin. Tällöin uudistamisketjun laatua voidaan parantaa metsänomistajan ja palveluntarjoajan vuorovaikutuksen kautta. Laadun parantamiseksi he yhdessä arvioivat metsänomistajan tarpeita ja uudistamiskohteen olosuhteita palvelun sisällön ja hinnan määrittelemiseksi (Vargo ja Lusch 2008, Zeithaml ym. 2009, Lillrank 2010, Kankaanhuhta 2014). Koettuun muokkauksen laatuun vaikuttavat myös metsänomistajan ja sidosryhmien asiakaskokemukset. Tällaisia ovat esimerkiksi asiakkaan kohtaaminen, valitukseen ja parannusehdotuksiin reagointi sekä muokatun kohteen visuaalinen ilme (Zeithaml ym. 2009, Grönroos 2010).

Metsänuudistamisketjun laadun ohjauksessa yksi tehokkaimmista keinoista on puutteelliseen menettelmävalintaan johtaneiden syiden, esim. toimihenkilön ja koneen kuljettajan osaamisen, toimintaohjeiden ja työrutiinien tarkastelu (Lillrank 2003). Työn toteutuksen laatua voidaan hallita määrittämällä hyvälaatuisten muokkausjälkien tai muokkauspisteiden kriteerit ja lukumäärä, sekä seuraamalla niiden vaihtelua omavalvontamittauksin. Omavalvontamittauksessa työntekijä itse mittaa työpätkänsä laatua määräajoin otetuilla koealoilla, tai reaaliaikaisesti GPS-raportointijärjestelmän avulla (Oakland 2003, Kankaanhuhta 2014, Haataja ym. 2018, Tiainen ja Vartiainen 2018). Samassa yhteydessä on mahdollista määrittellä myös esimerkiksi vesiensuojelun ja monimuotoisuuden vaalimisen kannalta merkittäviä tunnuksia.

## 4. Maanmuokkauksen vaikutukset taimien kasvuympäristöön

Juha Heiskanen, Jaana Luoranen ja Heli Viiri

Uudistusaloilla kasvuolot eivät ole siemenille ja taimille luonnostaan optimaalisia (Örlander ym. 1990). Maanmuokkauksella pyritään parantamaan istutustaimien, kylvösiementen ja luontaisesti syntyneiden taimien kasvuoloja sekä helpottamaan uudistamistyötä ja turvaamaan siten metsänuudistaminen ja taimikon jatkokehitys (Örlander ym. 1990, Mälkönen 2003, Luoranen ym. 2007, Grossnickle 2018). Kasvuolojen muutoksella pyritään ennen kaikkea parantamaan maaperän vesi-, lämpö- ja ravinneoloja sekä vähentämään pintakasvillisuuden kilpailua ja tuhoriskejä. Selvimmin maanmuokkauksen tuhoja pienentävä vaikutus näkyy tukkimiehentäin tuhoissa. Toisaalta vaikutukset maan lämpöoloihin voivat olla sekä positiivisia (kasvu) että negatiivisia (routa, rouste). Maanmuokkaus voi vaikuttaa kasvupaikan tuottokykyyn positiivisesti jopa useita vuosikymmeniä (Örlander ym. 1996, Johansson ym. 2013a). Muokkausmenetelmän ja sen laadun lisäksi myös istutuksen laatu ja istutuskohdan valinta vaikuttavat uudistumistulokseen (Örlander ym. 1990, Luoranen ym. 2018). Seuraavassa kuvataan tarkemmin erilaisia tekijöitä, joihin maanmuokkaus vaikuttaa. Tarkastelu tehdään pääosin kivennäismailla tehtyjen tutkimustulosten valossa, mutta samat vaikutukset koskevat useimpien myös turvemaita. Turvemaiden erityispiirteitä käsitellään luvussa 6.

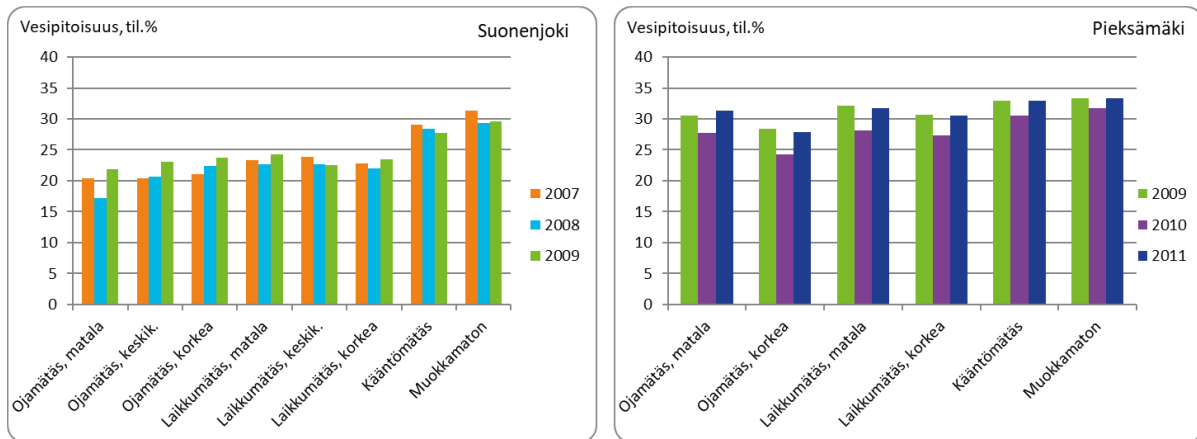
### 4.1. Kosteusolosuhteet huomiotava muokkausmenetelmän valinnassa

Istutuksen jälkeen juurten ja maan kontakti voi jäädä puutteelliseksi. Huono juuri-maakontakti koskee erityisesti paljasjuurisia taimia, joiden vedensaatavuus voi olla vuosia alempi kuin vakiintuneella samankokoisella luontaisella taimella. Vedenotto paranee vasta, kun juuristo on kasvanut ympäröivään maahan (Hallman ym. 1978, Örlander 1986, Burdett 1990, Grossnickle 2018). Paakkutaimilla juuri-maakontakti on yleensä parempi ja juuret kasvavat nopeasti ympäröivään maahan (Grossnickle 2018).

Uudistamishakkuun jälkeen pohjavesitaso yleensä nousee haihduttavan puuston poistuttua. Siksi kosteille kasvupaikoille, joilla pohjavesi nousee kuivempia enemmän, soveltuvat kohoumia muodostavat mätästysmenetelmät. Kuivilla ja karkearakeisilla kasvupaikoilla liiallinen vesi ei aiheuta samantaisia ongelmia ja niille riittää maata paljastavat laikutus ja äestys (Luoranen ym. 2007, Sarkkola ym. 2010).

Kohoumassa maan vesipitoisuus alenee lämpötilan kohoamisen ja siten lisääntyneen haihdunnan seurauksena. Mättäiden vesipitoisuuden on usein todettu olevan tasamaata alhaisempi. Näin käy etenkin silloin, kun mätäs on veden kapillaarista nousua eristävän humuskerroksen päällä (Mälkönen 1976, Lähde 1978, Örlander ym. 1990, Nohrstedt 2000, Mäkitalo ja Heiskanen 2001). Eri mätästyyppien välillä ei yleensä ole eroja vesipitoisuudessa, mutta korkeilla mätäillä kosteus on alhaisempi etenkin kuivina kesinä (Kuva 7). Kääntömättäät ja muokkaamaton välialue ovat yleensä märempiä kuin laikkumättäät (Heiskanen 2011, Heiskanen ym. 2013).





**Kuva 7.** Mätätysmenetelmien välillä on eroja maan vesipitoisuudessa (til. %) kivennäismailla. Kuvassa on kolmen kasvukauden aikainen (toukokuun loppu – lokakuun alku) kosteus 6 cm syvyydessä etelärinteessä olevalla uudistusalalla Suonenjoella (vas.) ja tasamaalla Pieksämäellä. Maanmuokkaus tehtiin Suonenjoella juuri ennen istutusta ja Pieksämäellä edellisenä syksynä (Heiskanen 2011, Heiskanen ym. 2013).

Vaikka humuskerros varastoi vettä, kuivuneena sen vesipitoisuus on alhainen. Kuiva humus estää kapillaarisen vedennousun alemmista maakerroksista, mikä voi heikentää taimien kasvua (Örlander 1985, 1986). Mätätäisiin liittyvää kuivuusriskiä voidaan hallita syväistutuksella (Luoranen ja Viiri 2016). Istutettaessa juuripaakku on saatava kivennäismaakerroksen alla olevaan humuskerrokseen (Örlander 1986). Erityisesti pienet minitaimet ovat alttiita kuivuudelle ja niille äestysjälki voi olla korkeita mätätäitä parempi istutuskohta (Lindström ja Hellkvist 2003). Hienojakoiset maat pidättävät vettä paremmin kuin karkeat maat, mutta kuivuttuaan niiden uudelleen kastuminen on hitaampaa. Erityisesti savi- ja hiesumailla korkeat mätätäät voivat kuivana kovettua ja tiivistyä sekä märkänä liettyä (Laiho ja Hovila 1992, Heiskanen ym. 2016, Luoranen ym. 2018). Laikuissa tai äestysurassa taimet voivat sateisina kausina joutua veden valtaan. Märkyys haittaa uudistumista erityisesti alavissa notkelmissa. Myös tasaiset savimaat vaativat yleensä kuivatusta (ojitusmätätys) (Bärring 1967, Johansson 1995).

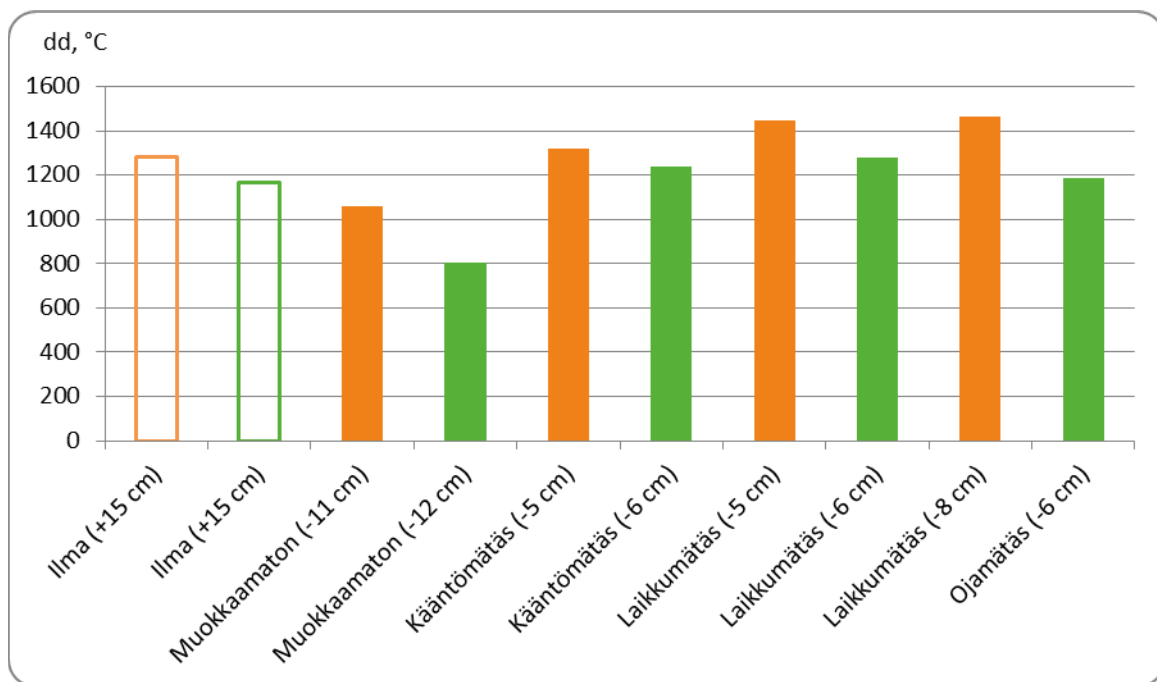
Metsäkylvössä maanmuokkauksen tärkein tavoite on luoda siemenille ja niistä kehittyvien sirkkaimien juurille hyvä kontakti kivennäismaahan, jotta ne pystyvät hyödyntämään alemmista maakerroksista kapillaarisesti nousevaa vettä (Oleskog ym. 2000). Tavoite saavutetaan poistamalla kasvillisuus ja humuskerros kivennäismaan pinnalta.

## 4.2. Maan lämpötila kohoaa

Maanmuokkaus nostaa maan lämpötilaa ja on yksi tärkeimmistä tekijöistä, jotka selittävät, miksi maanmuokkaus parantaa siementen itämistä ja lisää taimien kasvua ja elossa oloa (Levula 1990, Saksala ym. 1990, Örlander ym. 1990, Kubin ja Kempainen 1994). Kuusen ja männyn siementen itäminen on hyvin hidasta alle 10 °C lämpötilassa. Itämisen optimilämpötila on molemmilla lajeilla 20–25 °C (Leinonen ym. 1993, Winsa 1995). Kuusen- ja männyntaimien juurten kasvun minimilämpötila on 8–12 °C välillä. Jos lämpötila on sitä alhaisempi, versonkin kasvu alenee jyrkästi (Vapaavuori ym. 1992). Kuusentaimien juurten kasvun kannalta maan optimilämpötila on 20–25 °C, kun taas männyntaimilla lämpötilaoptimi on jopa 30 °C (Söderström 1976a, Örlander 1985, Vapaavuori ym. 1992). Metsämaassa lämpötilaoptimeja ei yleensä saavuteta edes maanmuokkauksella. Jopa optimilämpötila-alueen alaraja voi jäädä saavuttamatta, erityisesti keväisin. Muokkaamattoman maan pinnalla lämpötila voi aurinkoisina päivinä nousta haitallisen korkeaksi siemenille ja sirkkaimille (Vaartaja 1954, 1955). Muokkaukskohoumissa ilman lämpötila kivennäismaan pinnalla voi nousta selvästi yli 30 °C:een (Raulo ja Rikala 1981, Kubin ja Kempainen 1994), mikä voi jo haitata varsinkin kuusen kasvua (Sö-

derström 1976a, Örlander 1985). Maanmuokkauksen voimakkuus vaikuttaa myös lämpöoloihin: voimakkaammin maata käsittelevät menetelmät nostavat lämpötiloja enemmän (Kuva 8). Tämä selittää myös sen, miksi muokkauksen voimakkuuden lisääntyessä taimien elossaolo ja kasvu yleensä lisääntyvät (Kubin ja Savilampi 1995, Valtanen ja Tasanen 1996, Mäkitalo 1999, Nordborg 2001, Saksa ym. 2005).

Humuskerros hidastaa lämmön johtumista maahan (Laurén 1997). Maanmuokkauksessa humuskerroksen poisto (Björ 1971) ja kohoumien muodostaminen lisäävät maahan absorboituvan säteilyn määrää, mikä kohottaa maan lämpötilaa ja lämpösummaa tasamaahan verrattuna jopa yli 10 vuoden ajan (Mälkönen 1972, Söderström 1976b, 1976b, Lähde 1978, Lähde ym. 1981, Kubin ja Kemppainen 1994, Macadam ja Bedford 1998, Hansson ym. 2018). Tällä on taimien kasvun kannalta merkitystä märissä ja kylmissä olosuhteissa. Lämpösumman nousu on suhteessa sitä suurempi, mitä pohjoisempaa uudistusala on (Mannerkoski ja Mälkönen 2000). Myös humuskerroksen sekoittuminen mineraalimaan voi parantaa kuivatusta ja kohottaa lämpötilaa (Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981). Muokkaukskohoumien muodostuminen vähentää kasvukaudella maanpinnan läheisen ilman lämpötilavaihteluja ja siten myös hallariskiä (Kubin ja Kemppainen 1994).



**Kuva 8.** Kääntö-, laikku- ja ojamättäillä kertyy maahan lämpösummaa (>5 °C) enemmän kuin muokkaamattomalla maalla. Kuvassa on esitetty lämpösumman kertymät aurinkoisen rinteiden uudistusalueilla Suonenjoella (oranssi) ja tasamaalla Pieksämäellä (vihreä). Lämpösumma on mitattu 29.4.–30.9.2009. Kuva perustuu Heiskanen ym. (2013) esittämään aineistoon. Numeroarvo suluissa ilmaisee lämpömittauksen korkeusaseman maanpintaan nähden senttimetreinä.

### 4.3. Ravinteiden saatavuus paranee

Istutusalan kohonnut lämpötila sekä voimakas humuksen ja mineraalimaan sekoittuminen lisäävät maan biologista aktiivisuutta, orgaanisen aineksen hajoamista ja ravinteiden saatavuutta ja parantavat taimien kasvuedellytyksiä ja uudistumistulosta (Mälkönen 1972, Ritari ja Lähde 1978, Salenius 1983, Palmgren 1984, Hallsby 1994, McMinn ym. 1995, Lundmark-Thelin ja Johansson 1997, Heiskanen ja Rikala 2006).

Muokkaukskohdissa ja varsinkin laikku- ja kääntömättäissä kasveille käyttökelpoisen typpipitoisuus on usein moninkertainen verrattuna käsittelemättömään maahan. Laikkumättäissä typpipitoisuus on

suuri kaksinkertaisen humuskerroksen mineralisoitumisen ja pintakasvillisuuden vähäisen typenoton vuoksi (Örlander ym. 1990, Nohrstedt 2000, Smolander ym. 2000a, Heiskanen ja Rikala 2006, Smolander ja Heiskanen 2007). Taimien kasvu voi olla hyvä muokkaamattomaankin maahan istutettaessa, jos taimien juuret pääsevät heti uudistamishakkuun jälkeen kasvamaan typpipitoiseen humuskerrokseen ja sen alle (Hallsby 1994, Heiskanen ja Viiri 2005, Heiskanen ym. 2013).

#### 4.4. Maan tiheys alenee

Kivennäismailla maan tiheys on keskimäärin suurempi (1,4–1,5 g/cm<sup>3</sup>) (Tamminen ja Starr 1994) kuin juurten kasvun optimitiheys (<1,2 g/cm<sup>3</sup>) (Zisa ym. 1980, Korotaev 1992). Kuusen juurten kasvu on maan tiiveydelle hieman herkempi kuin männyn (Zisa ym. 1980, Korotaev 1992). Taimien kasvua ja juurtumista voidaan edistää muokkausmenetelmillä, jotka alentavat maan tiheyttä ja lisäävät ilmaavuutta. Humusaineksen sekoittuminen kivennäismaahan lisää maan ilmaavuutta ja lämpötilaa sekä voi sitä kautta alentaa rousteen muodostusta. Juurten kasvu voi lisääntyä myös humuskerroksessa, kun sen rakenne rikkoutuu, vaikka tiheys ei muuttuisikaan (den Ouden ja Vogels 1997). Äestyksessä ja laikutuksessa maa voi kuitenkin jäädä liian tiiviiksi mätästykseseen verrattuna, mikä voi selittää niiden heikompaa uudistumistulosta (Kivimaa 1987, Schildt 2000). Maanmuokkuskoneiden ei ole todettu aiheuttavan maan urautumista tai maan tiivistymistä, koska pintapaineet ovat selvästi kuormatraktorein aiheuttamaa painetta alhaisemmat (vrt. Uusitalo ym. 2015, Sirén ym. 2019).

#### 4.5. Maanmuokkaus torjuu pintakasvillisuuden kilpailua

Pintakasvillisuus lisääntyy hakkuualoilla, mikä johtuu valon lisääntymisestä, lämpötilan kohoamisesta ja puuston kilpailun poistumisesta. Pintakasvillisuuden kilpailu heikentää taimien kasvua ja lisää tuhoriskejä (Nilsson ja Örlander 2003). Heinittymiselle alttiit viljavat ja hienojakoiset maat sekä viljavat turvekankaat edellyttävät muokkausta myös pintakasvillisuuden torjumiseksi, sillä paljastettuun maahan ja mättäisiin kasvillisuus tulee hitaammin kuin muokkaamattomaan maahan. Maanmuokkauksessa tulee välttää ylimääräisen kivennäismaan paljastamista, sillä se lisää lehtipuuvesakon määrää. Maanmuokkauksella voidaan torjua pintakasvillisuutta yhtä tehokkaasti kuin useilla herbisidikäsitteilyillä (Raulo ja Rikala 1981, Nilsson ym. 1996, Nilsson ja Örlander 2003, Heiskanen ym. 2013).

#### 4.6. Taimi- ja siementuhot

##### 4.6.1. Maanmuokkaus vähentää tukkimiehentäin tuhoja

Metsänuudistaminen luo ihanteelliset olosuhteet tukkimiehentäin leviämislle ja lisääntymislle. Kannot tarjoavat lisääntymispaikkoja, populaatiokoko kasvaa nopeasti ja johtaa taimituhoihin (Leather ym. 1999). Ravintonaan tukkimiehentäi käyttää kaikkien puuvartisten kasvien kuorta, mutta merkittävimmät tuhot se aiheuttaa havupuiden taimille (Kuva 9) (Leather ym. 1999, Rahman ym. 2018). Lämpötilaolot vaikuttavat tukkimiehentäin uusien sukupolvien kehitykseen: lämpimässä kehitys on nopeaa (Inward ym. 2012). Tällä hetkellä tukkimiehentäin tuhot ovat Pohjois-Suomessa vähäisiä. On kuitenkin ennustettu, että ilmaston lämpenemisen myötä tukkimiehentäin tuhot lisääntyvät ja leviävät Etelä- ja Keski-Suomen korkeudelta yhä pohjoisemmaksi (Nordlander ym. 2017).



**Kuva 9.** Tukkimiehentäi syömässä humuspinnalla kasvavaa kuusen tainta. Kuva: Erkki Oksanen/Luke.

Maanmuokkaus vähentää tukkimiehintäin tuhoja (Lindström ym. 1986, von Sydow 1997, Örländer ja Nilsson 1999, Thorsén ym. 2001, Heiskanen ja Viiri 2005, Luoranen ym. 2017). Tukkimiehintäin torjunnan kannalta on tehokasta paljastaa riittävästi puhdasta kivennäismaata, jota hyönteisen tiedetään karttavan ja sille joutuessaan kävelevän suurempaan ja nopeammin kuin humuspinnalla tai muokkaamattomalla maalla (Söderström 1977, Örländer ym. 1990, 1991, Örländer ja Nilsson 1999, Heiskanen ja Viiri 2005, Kindvall ym. 2000). Tukkimiehintäi ei mielellään ruokaile kivennäismaapinnalla kasvavalla taimella (Björklund ym. 2003). Taimi tulisi istuttaa keskelle koholla olevaa kivennäismaakohtaa, jonka halkaisija tulee olla vähintään 20 cm ja paksuus 2 cm, jolloin taimi on suhteellisen turvassa tukkimiehintäin syöntivioituksilta (Nordlander ym. 2005, Petersson ym. 2005). Sikströmin ym. (käsikirjoitus) tekemän meta-analyysin mukaan muokkaamattomaan maahan istutetuista kasvin-suojeluaineella tai mekaanisilla suojilla käsittelemättömistä havupuun taimista on elossa noin 20 % 3–7 vuoden kuluttua istutuksesta, ja jonkinlaisen suojauskäsittelyn (yleensä kemiallisen) saaneista noin 70 %. Saman tutkimuksen mukaan muokattuun maanpintaan istutetuista kasvin-suojeluaineilla käsitellyistä taimista säilyy elossa noin 90 %.

Maanmuokkaus vähentää tukkimiehintäin tuhoja myös turvemailla. Ohutturpeisilla soilla, joissa turvekerroksen paksuus on alle 30 cm, on pyrittävä kivennäismaapintaisten mättäiden tekoon. Taimen istuttaminen keskelle kivennäismaapintaista muokkausjälkeä vähentää tuhoriskiä (Luoranen ja Viiri 2012). Myös istuttaminen muokattuun turvemaapintaan vähentää tuhoriskiä verrattuna muokkaamattomaan turvepintaan, joskaan ei yhtä tehokkaasti kuin kivennäismaapinta (Luoranen ja Viiri 2012).

Mätästys antaa tehokkaamman ja pidempikestoisemman suojan tukkimiehintäin tuhoja vastaan kuin äestys, koska istutuskohta on ympäristöään korkeammalla ja pintakasvillisuus palaa mättääseen hitaammin kuin äesjälkeen (Petersson ja Örländer 2003, Örländer ja Nordlander 2003, Saksa 2011). Jyrsimällä tehdyissä mätäissä istutustaimien tukkimiehintäin tuhot ovat selvästi suuremmat kuin

kivennäismaapintaisilla laikkumättäillä (Luoranen ym. 2011). Maanmuokkauksen tukkimiehentältä suojaava teho on suurimmillaan ensimmäisenä kasvukautena ja jatkuu pari vuotta muokkauksesta (Örlander ja Nilsson 1999) eli maanmuokkaus suojaa taimia pidempään kuin nykyiset kemialliset valmisteet (Viiri ym. 2007). Etelä-Ruotsissa on tutkittu, että tanakat taimet, joiden tyviläpimita on 8–10 mm, selvisivät muokatulla maalla suhteellisen hyvin ilman kasvinsuojeluainekäsittelyä (Thorsén ym. 2001). Keski-Suomessa jo yli 3 mm läpimittaiset käsittelemättömät taimet selviytyivät mättäillä tukkimiehentäin syönnistä suhteellisen hyvin (Luoranen ym. 2017). Muokkaamattomalla maalla taimien läpimitan on oltava reilusti yli 10 mm, jotta taimet selviävät tukkimiehentäin syönnistä (Thorsén ym. 2001).

Maanmuokkauksen juurtumista ja kasvua edistävä vaikutus parantaa myös taimien kestävyttä tukkimiehentäin syöntivoituuksia vastaan (Wainhouse ym. 2009). Tukkimiehentäin syöntivoitukset pieniä pinnallisia syöntilaikkuja lukuun ottamatta heikentävät taimien pituuskasvua (Thorsén ym. 2001, Luoranen ym. 2017) ja altistavat ne pintakasvillisuuden kilpailulle. Kantojen nosto uudistamisen yhteydessä paljastaa kivennäismaata ja vähentää juurten nilaa käyttävien tuhohyönteisten määrää, mutta se ei yksin riitä vähentämään tukkimiehentäin tuhoriskiä (Rahman ym. 2018) ja luomaan taimille turvallisia istutuspaikkoja.

#### 4.6.2. Muokkauksen vaikutukset muihin eläintuhoihin vaihtelevat

Peltomyyrä aiheuttaa merkittäviä tuhoja syömällä taimien kuorta ja katkomalla taimia. Metsämyyrä syö taimien latvasilmuja, mutta se ei useinkaan tapa taimeita, vaan johtaa taimen pensastumiseen (Kuva 10). Vesimyyrä kaivaa maahan käytäviä ja voi syödä taimien juuria vielä 10 vuotta istutuksen jälkeen. Runsas pintakasvillisuus lisää myyrätuhojen riskiä (Teivainen ym. 1986, Ferm ym. 1994). Koska maanmuokkauksella vähennetään pintakasvillisuutta, voidaan samalla vähentää myös myyrätuhojen riskiä (Löf ym. 2006, Huitu ym. 2013). Luorasan ja Viirin (2012) tutkimus antoi viitteitä siitä, että myyrätuhot olisivat vähäisemmät mätästys- kuin laikutusalioilla, joskaan ero ei ollut selvä. Turvepinta ja maan hienojakoisuus lisäävät myyrätuhojen riskiä (Luoranen ja Viiri 2012). Tämä johtunee runsaasta pintakasvillisuudesta. Myyrävuosina ojamättäissä myyrätuhojen määrä voi olla hieman alempi kuin laikku- tai kääntömättäissä mahdollisesti johtuen vähäisemmästä pintakasvillisuuden ja suuremmasta paljastuneen mineraalimaan määrästä (Heiskanen ym. 2013).

Maanmuokkauksen vaikutuksista muihin nisäkästuhoihin, kuten kauristuhoihin, on saatu ristiriitaisia tuloksia. Bergquist ym. (2009) eivät löytäneet eroja muokatun ja muokkaamattoman maan välillä, kun taas Johansson ym. (2013b) havaitsivat, että isompien nisäkkäiden aiheuttamia tuhoja oli enemmän muokkaamattomalle maalle istutetuilla männyn taimilla. Syyksi he arvelivat runsasta pintakasvillisuutta muokkaamattomalla maalla.

Muokattuun maahan kylvettyjä siemeniä uhkaavat monet siemensyöjät, kuten myyrät ja linnut. Niiden aiheuttamia tuhoja voidaan vähentää peittämällä siemenet sopivalle syvyydelle kylvön jälkeen (Bergsten 1988, Nilson ja Hjalten 2003).



**Kuva 10.** Metsämyyrä on syönyt kesällä istutetun kuusentaimen poikki. Kuva: Erkki Oksanen/Luke.

#### 4.6.3. Maanmuokkauksen vaikutuksista juurikääpään ristiriitaisia tuloksia

Maanmuokkauksen vaikutuksista sienitauteihin, erityisesti juurikääpään (*Heterobasidion*) on vain vähän tutkittua tietoa (Kuva 11). Woodward ym. (1998) mukaan joissakin vanhemmissa tutkimuksissa ei ole todettu eroja juurikäävän esiintymisessä auratuilla ja auraamattomilla aloilla Tanskassa ja Saksassa. Toisissa tutkimuksissa taas on todettu juurikäävän leviävän auraspalteen suuntaisesti (Redfern 1984). Rönneberg ja Vollbrecht (1999) toteavat, että äestys saattaisi lisätä juurikäävän saastuttamien juuren palojen leviämistä juurikäävän pahoin saastuttamalla uudistusalalla ja lisätä siten juurikääpä-infektion riskiä. Heidän tutkimuksessaan ei tosin ollut vertailua muokkaamattomaan maahan, vaan kaikki lehtikuusen taimet oli istutettu äestysjälkiin. Puolassa tehdyssä tutkimuksessa juurikääpään kuolleita mäntyjä oli enemmän auratulla kuin muokkaamattomalla maalla, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkittäviä (Kweśna ym. 2015).

Pahoin juurikäävän saastuttamille kohteille suositellaan kannonnostoa, joka selvästi vähentää juurikäävän leviämistä (Vasaitis ym. 2008). Kannonnostossa poistetaan kannot ja paksuimmat juuret, mutta ohuimmat juuret ja paloja juurikäävän saastuttamista lahoista juurista jää jäljelle (Rahman ym. 2018). Tästä johtuen kannonnosto ei täysin poista juurikääpää uudistusalalta (Vasaitis ym. 2008).



**Kuva 11.** Männynjuurikäävän aiheuttaman männyn tyvitervastaudin tappama taimi. Sieni lahottaa juuristoa ja aiheuttaa rungon tyven tervastumisen. Kuva: Erkki Oksanen/Luke.

#### 4.6.4. Maanmuokkauksen vaikutukset halla-, rouste- ja ahavatuhoihin

Abioottisia tuhonaiheuttajia ovat elottomat tuhonaiheuttajat, kuten rouste, halla, ahava, kuivuus ja märkyys. Maanmuokkauksen vaikutuksia abioottisiin olosuhteisiin (vesi- ja lämpöolot) on käsitelty jo edeltävässä luvussa 3.3. ja seuraavaksi käydään läpi lyhyesti abioottisia tuhoja (halla, rouste ja ahava).

Maanmuokkauksella voidaan vähentää hallavaurioita, jos istutuskohta tulee koholle, kuten tapahtuu esimerkiksi mätästyksessä (Langvall ym. 2001). Kylmä ilma valuu muokatuista kohoumista alaspäin. Jos taimi istutetaan muokkausjälkeen, joka ei ole koholla ympäröivästä maanpinnasta, suojaa hallaa vastaan ei saada. Toisaalta lämpötilan kohoaminen muokkausjäljessä voi aikaistaa silmun puhkeamista (Johansson ym. 2005) ja altistaa taimia kevähallolle (Kuva 12). Syksyisin maan jäähtyessä minimilämpötilat ovat muokkauskohoumissa tasamaata alemmat, mikä voi lisätä pakkastuhoja syksyllä (Örlander ym. 1990, Ritari 1995, Örlander 1995).



**Kuva 12.** Keväthallan vioittama taimi. Vioitukset aiheuttavat kasvutappioita vuosikasvujen ruskettueassa. Kuva: Erkki Oksanen/Luke.

Humuskerroksen poistaminen lisää maan lämpötilavaihtelua. Syksyisin ja keväisin maan toistuva sulaminen ja jäätyminen erityisesti kosteilla, hienojakoisilla ja vettä huonosti johtavilla mailla lisää roustetuhojen riskiä (Örlander ym. 1990, 1991, Kubin ja Kemppainen 1994, Repo ja Valtanen 1994, Goulet 1995, Bergsten ym. 2001, de Chantal ym. 2006, Heiskanen ym. 2013). Rouste voi nostaa pieniä ja heikosti juurtuneita taimia ylös maasta (Kuva 13). Muokkausmenetelmästä riippumatta roustetuhojen riski on suurempi muokatulla maalla kuin muokkaamattomassa maassa (Heiskanen ym. 2013). Kääntömättäillä istutustaimien roustetuhojen riski on hieman suurempi kuin muilla mätästyypeillä johtuen kääntömättäiden suuremmasta kosteudesta. Rousteriski on olemassa myös laikuissa ja aurasjäljessä, koska niissä kosteus on usein suuri (Örlander ym. 1990, Heiskanen 2011, Heiskanen ym. 2013). Hienojakoisilla roustealttiilla kohteilla voidaan rouste- ja kuivumisriskejä vähentää käyttämällä maanpinnalla kateaineita, kuivattamalla maa riittävästi, jättämällä maa käsittelemättä sekä käyttämällä isoja taimia ja istuttamalla ne riittävän syvään (Örlander ym. 1990, 1991, Goulet 1995).

Kylvötaimien roustetuhojen riskiin vaikuttaa maanmuokkauksen voimakkuus: mitä syvemmältä ja mitä laajemmalta alalta kivennäismaata paljastetaan, sitä suurempi roustetuhojen riski on (Bergsten ym. 2001, de Chantal ym. 2003, 2006, 2007). Kylvöaloilla roustetuhojen riskiä voidaan pienentää poistamalla vain pintakasvillisuus ja pääosa humuksesta kivennäismaan pinnalta sekä jättämällä kivennäismaan rakenne mahdollisimman ehjäksi.





**Kuva 13.** Rousteen nostama istutettu kuusentaimi mättäässä (vasen) ja kylvettyjä männyntaimia laikussa (oikea). Kuvat: Erkki Oksanen/Luke.

Maanmuokkaus vaikuttaa myös taimien talvituhoihin. Syystalvella kohoumat routaantuvat helpommin ja syvemmältä kuin maanpinnan tasalla olevat muokkausjäljet. Lisäksi lumi sulaa kohoumilla nopeammin kuin maanpinnan tasolla tai kuopissa altistaen taimet ahavalle. Ahavatuho syntyy, kun taimet altistuvat kirkkaalle auringonpaisteelle. Jos maa on jäässä, taimet eivät saa haihdutetun veden tilalle uutta ja ne voivat kuivua (Kuva 14).

Lumettomana, mutta kylmänä aikana maan lämpötila voi korkeammalla kohdalla laskea vaurioittaen taimien juuria (Lindström ja Troeng 1995). Kääntömättäissä (Örlander 1997, Örlander ym. 1998), äestyksessä ja laikutuksessa maan routaantuminen on vähäisempää kuin mättäillä, jolloin esimerkiksi ahavatuhojen riskit lienevät pienempiä.



**Kuva 14.** Ahavan vioittama taimi. Maan ollessa vielä roudassa taimen juuristo ei saa vettä, jonka seurauksena neulaset kuivuvat. Kuva: Risto Rikala/Luke.

## 5. Maanmuokkaus parantaa itämistä, kasvua ja elossa oloa

Jaana Luoranen, Pekka Helenius ja Katri Himanen

Kasvupaikalle soveltuvalla ja oikein toteutetulla maanmuokkauksella on lukuisia positiivisia ja osin korvaamattomia vaikutuksia taimien alkukehitykseen. Vaikutukset ovat samankaltaisia, uudistetaan metsä sitten viljellen tai luontaisesti. Maanmuokkausmenetelmien kehittymisen myötä myös istutus-taimien kokoa on voitu pienentää, mikä on alentanut taimien tuotantokustannuksia sekä metsänviljelykustannuksia. Seuraavassa tarkastellaan maanmuokkauksen ja muokkaamattomuuden vaikutuksia itämiseen ja taimien alkukehitykseen kivennäismailla. Turvemaiden osalta vastaavia asioita käsitellään luvussa 6.

### 5.1. Itäminen moninkertaista muokatussa maassa

Maanmuokkaus parantaa selvästi siementen itämistä sekä kivennäis- että turvemaidella (Kuva 15). Siementen itäminen ja taimettuminen on moninkertaista paljastuneella kivennäismaan pinnalla verrattuna koskemattomaan kasvipeitteeseen riippumatta siitä, käytetäänkö kylvöä (Herr ja Duchesne 1996, Oleskog ja Sahlen 2000, Wennström ym. 1999), siemen- ja suojuspuuhakkuuta (Karlsson ja Örlander 2000, Kuuluvainen ja Juntunen 1998) vai jatkuvaa kasvatusta (Valkonen ja Maguire 2005). Esimerkiksi Valkosen ja Maguiren (2005) tutkimuksessa kuusen siementen itäminen oli jatkuvan kasvatuksen aloilla 4,3–6,9 -kertainen muokatulla kivennäismaalla verrattuna muokkaamattomaan maahan. Hanssenin ym. (2003) tutkimuksessa kuusen taimettuminen oli selvästi parempaa suojuspuuston alla laikutuksen tai kääntömätästyksen jälkeen verrattuna muokkaamattomaan maahan. Nilssonin ym. (2002) tutkimuksessa taimettuminen niin ikään moninkertaistui kaikilla tutkituilla puulajeilla maanmuokkauksen vaikutuksesta suojuspuuston alla. Kankaanhuhdan ym. (2009) käytännön viljelyalojen inventointitutkimuksessa puolestaan todettiin muokkaamattomalla maalla olevan 44 % vähemmän taimia neljän vuoden kuluttua männyn kylvöstä kuin äestysjäljessä. Myös muokkaustapa vaikuttaa pienessä määrin taimettumiseen, sillä mättäillä oli 9 % enemmän taimia kuin äestysjäljessä, mutta laikutusjälki ei poikennut äestysjäljestä (Kankaanhuhta ym. 2009). Pohjois-Suomessa pienaukoilla ja siemenpuuston alla maanmuokkaukseksi voi riittää pienialainen 10–20 % kivennäismaan pintaa paljastava kevyt laikutus (Hallikainen ym. 2019). Maanmuokkaus lisää myös kylvettyjen ja luontaisesti syntyneiden taimien pituuskasvua (Hyppönen ym. 2005, Karlsson ja Örlander 2000) sekä parantaa taimikoiden tilajärjestystä vähentämällä aukkoisuutta (Kinnunen ja Mäki-Kojola 1980).

Luontaiseen uudistamiseen tähtäävissä hakkuissa maanmuokkauksen ajoitus suhteessa sekä siemensatojen vuotuisen vaihteluun että siementen varisemisajankohtaan on tärkeä. Maanmuokkaus ei paranna taimettumista hyvänäkään siemenvuotena, jos se tehdään siementen varisemisen jälkeen (Hökkä ym. 2012, Drössler ym. 2017). Erityisesti tämä koskee kuusta, jolla hyvää siemenvuotta seuraa yleensä useita huonoja siemenvuosia. Siementen varisemisen jälkeen tehty muokkaus tuhoaa myös siemeniä ja jo olemassa olevia taimia.



**Kuva 15.** Kivennäismaan pinnan paljastaminen kevyesti esimerkiksi metsä-äkeellä on edellytys kylvön onnistumiselle. Kylvöön hyvin soveltuvan äesjäljen tunnistaa mm. siitä, ettei palteeseen ole kertynyt paljoa kivennäismaata. Toisin kuin männyn istutusaloilla, kylvövaon pinnalle voi myös paikoitellen jäädä hieman humusta. Kuva: Pekka Helenius/Luke.

Nygrenin (2011) mukaan ilman maanmuokkausta kivennäismaiden kylvötulokset ovat hyviä vain poikkeuksellisen kosteina kesinä ja silloinkin vain ohuthumuksilla, lajittuneilla jäkäläkankailla. Sen sijaan viljavammille kivennäismailla tyypillinen seinä- ja kerrossammalkasvusto on jo lähtökohtaisesti liian kuiva siementen itämiselle ja uudistamishakkuun jälkeen lisääntynyt auringon säteily kuivattaa sitä entisestään (Chrosiewicz 1990). Itämistä heikentää myös muu pintakasvillisuus (Valkonen ja Maguire 2005, Zackrisson ja Nilsson 1992).

Kivennäismailla kylvöön soveltuvat kevyesti maanpintaa rikkovat menetelmät kuten laikutus ja äestys. Kivennäismaan pinnan paljastava pienialainen muokkaus ja muokkauksen jälkeen paikoitellen jäävä humus ja siementen peittäminen vähentävät rousteen ja siemensyöjien aiheuttamia tuhoja ja myöhemmin edistävät siemenistä kasvaneiden taimien veden ja ravinteiden saantia (Bergsten ym. 2001, de Chantal ym. 2003, 2006, Nilson ja Hjalten 2003, Oleskog 1999, Pesonen 2019, Vaartaja 1950). Maanmuokkauksen itämistä edistävää vaikutusta ei voida korvata kulotuksella, etenkin jos humuksen palaminen jää epätäydelliseksi (Herr ja Duchesne 1996, Pitkänen ym. 2005).

## 5.2. Maanmuokkaus lisää luontaista taimiainesta viljelyaloilla

Koska maanmuokkaus parantaa siementen itämisolosuhteita, se lisää myös metsänviljelyalalle luontaisesti syntyvien taimien määrää (Karlsson ja Örlander 2000). Kolme vuotta muokkauksen jälkeen laikkumättäillä on luontaisesti syntyneitä koivun taimia vähemmän kuin muokkaamattomalla pinnalla, mutta myöhemmin vuosina mättäille syntyy taimia luontaisesti muokkaamattomasta enemmän (Lehtosalo ym. 2010). Toisaalta maanmuokkauksen taimettumista lisäävän vaikutuksen on todettu säilyvän äesjäljessä noin viisi vuotta asteittain vähentyen (Karlsson ja Örlander 2000).

Muokkausmenetelmistä eniten luontaisia taimia syntyy äestysjälkeen (Holmström ym. 2016, Uotila ym. 2010), jossa paljastetun kivennäismaapinnan osuus on suurin (Kuva 16). Paljastetun kivennäismaan osuus kokonaisalasta on äkeen lautaskulmasta ja lautasten painatuksesta riippuen 23–33 %

(Karlsson ja Örlander 2000, Rummukainen ym. 2011). Palteen osuus oli Rummukaisen (2011) tutkimuksessa keskimäärin 11 % kokonaisalasta. Luontaisesti syntyvät, kasvupaikalle soveltuvat taimet täydentävät taimikkoa parantaen tilajärjestystä ja lisäten lajiston monimuotoisuutta. Liian suuret ja liian lähelle viljeltyjä kasvaneet luontaiset taimet heikentävät kuitenkin viljeltyjen taimien kasvua ja laatua. Nämä haittaavat puut poistetaan taimikonhoidossa. Siten luontaisesti syntyvien lehtipuun taimien määrä vaikuttaa myöhemmin taimikon jälkihoitotarpeeseen ja taimikonhoitokustannuksiin.

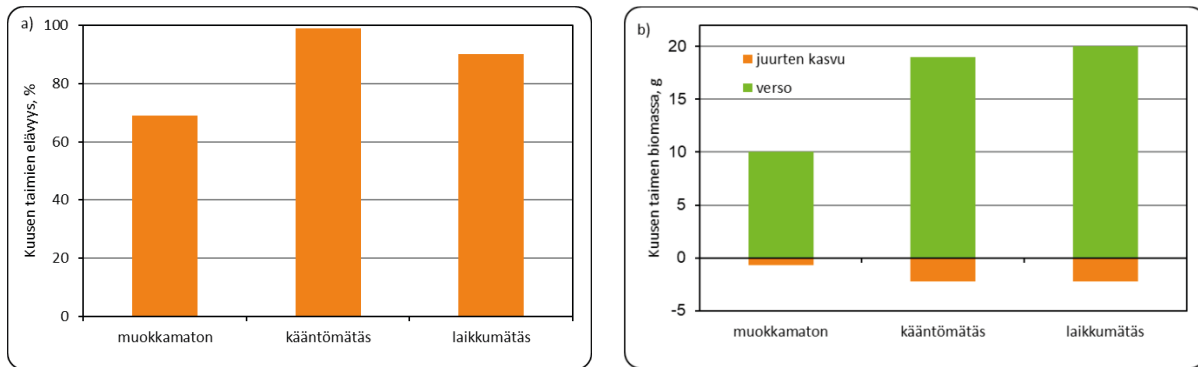


**Kuva 16.** Äesvakoon syntyy luontaista lehtipuuta (vas.) enemmän kuin mätätetylle alueelle (oik.). Kuvat: Erkki Oksanen/Luke.

### 5.3. Maanmuokkaus lisää istutustaimien elossa oloa

Kaikki maanmuokkausmenetelmät parantavat istutustaimien elävyyttä (Kuva 17a). Muokattuun maahan istutetuista havupuun taimista elossa on yleensä 80–90 % noin 10 vuoden kuluttua istutuksesta, kun muokkaamattomalla maalla elossa olo on 15–20 prosenttiyksikköä alhaisempi (Sikström ym. käsikirjoitus). Pohjoismaisissa oloissa maanmuokkauksen vaikutukset elävyyteen ovat samanlaiset yli 800 d.d. lämpösumman alueilla, ja sitä pohjoisempana tulokset vaihtelevat suuresti (Sikström ym. käsikirjoitus). Uudistamisen varmistamiseksi kuusen ja männyn istutusalat on muokattava myös Pohjois-Suomessa (Roturier ja Bergsten 2006, Mäkitalo 2009). Lehtipuilla tulokset ovat samansuuntaisia (mm. Bergquist ym. 2009, Raulo ja Rikala 1981).

Muokkausmenetelmien vertailussa erilaisten mätätysmenetelmien on todettu parantavan istutettujen havupuun taimien elävyyttä muihin muokkausmenetelmiin verrattuna (Kankaanhuhta ym. 2009, Saksa 2011). Pohjoismaisissa tutkimuksissa elossa olo on ollut kääntömättäillä keskimäärin 9–13 prosenttiyksikköä laikutusta, aurausta ja äestystä parempi (Sikström ym. käsikirjoitus). Käytännön uudistamisaloilla Suomessa mättäille ja laikkuun istutetuista kuusen taimista oli neljän kasvukauden jälkeen elossa yli 90 %, kun äesjäljessä elossa olo oli 80 % (Saksa 2011). Myös Kankaanhuhtan ym. (2009) inventointitutkimuksessa kuusen istutustulos oli paras mättäillä ja epävarmin laikutus- ja äesjäljissä.



**Kuva 17.** Maanmuokkaus parantaa taimien a) elävyyttä sekä b) maan pällisen osan biomassaa ja juurten kasvua. Kuvat on uudelleenpiirretty Heiskasen ja Viirin (2005) (a) sekä Heiskasen ja Rikalan (2006) (b) julkaisuissa esittämistä 1-vuotaina istutettujen kuusen taimien elävyy- ja kasvutuloksista. Kasvuluvut on mitattu kahden kasvukauden jälkeen ja juurten kasvu on mitattu kahden vuoden aikana paakusta uloskasvaneiden juurten kuivamassana.

Taimien eloonjäämisen kannalta oleellisin asia on oikea maanmuokkausmenetelmän valinta sekä maanmuokkauksen tekninen onnistuminen. Istutusaloilla muokkausjäljen pinnassa tulee olla kivennäismaata (Kuva 18), sillä se vähentää tukkimiehentäin aiheuttamaa kuolleisuutta (Luoranen ym. 2017, Nordlander ym. 2011, 2017, Saksa 2011, Wallertz ym. 2018) ja parantaa taimien selviytymistä myös ankarista talvioloista (Luoranen ym. 2018). Mätästyksessä mättäiden alle jääneet kivet, kannot ja hakkuutähteet jättävät mättäisiin ilmataskuja sekä vaikeuttavat taimien istuttamista lisäten istutuksen jälkeistä kuivumisriskiä (Luoranen ym. 2011). Tukkimiehentäin tuhojen lisäksi muokkaamattomalla maalla kuolleisuutta lisää pintakasvillisuuden ravinnekilpailu ja kilpailu vedestä (Nilsson ja Örlander 2003). Kuivina kausina maanmuokkaus voi myös hidastaa maan kuivumista, jos ympäröivillä alueilla on voimakas vettä käyttävä pintakasvillisuus (Nilsson ja Örlander 1995).



**Kuva 18.** Kivennäismaapintaisella mättäällä kuusen taimi on turvassa tukkimiehentäin syönniltä (vas.). Mätästässä oleva humuspinta ja kivet lisäävät taimien kuivumisriskiä (oik.). Mätästässä olevien kivien ja juuripaakun väliin jää helposti tyhjää tilaa, jolloin maa-juuri kontaktin syntyminen hidastuu ja taimen vedenotto vaikeutuu. Kuvat: Katri Himanen/Luke (vas.), Marja Poteri/Luke (oik.).

## 5.4. Muokkaus voi kaksinkertaistaa kasvun

Maanmuokkauksen kasvua parantava vaikutus on yhtä merkittävä kuin vaikutus elävyyteen (Kuva 17b). Taimien alkuvaiheen nopea pituuskasvu auttaa taimia selviytymään kilpailusta muun kasvillisuuden kanssa. Muokatulla maalla havupuun istutustaimien pituuskasvu on 10–25 % suurempi kuin muokkaamattomalla maalla 10–15 vuoden kuluttua istutuksesta (Sikström ym. käsikirjoitus). Örländerin ym. (1998) tutkimuksessa puiden runkotilavuus kääntömättäissä oli lähes 100 % suurempi kuin muokkaamattomassa maassa ja noin 35 % suurempi kuin äesjäljessä ja mätästyksessä kymmenen vuoden kuluttua muokkauksesta. Myöhemminä vuosina pituuskasvuerot muokkauksen ja muokkaamattoman maan välillä eivät enää suurene, mutta siihen mennessä syntyneet pituuserot säilyvät (Johansson ym. 2013a). Maantieteellisesti erot muokkaustapojen ja muokkaamattoman ja muokatun maan välillä pienenevät eteläänpäin mentäessä (Sikström ym. käsikirjoitus).

Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös Pohjois-Amerikasta (esim. Boateng ym. 2006, Hawkins ym. 1995, 2006, Youngblood ym. 2011), joskaan kaikissa tutkimuksissa maanmuokkaus ei ole vaikuttanut taimien kasvuun (esim. Thiffoult ym. 2003). Örländer ym. (1996) selvittivät aurauksen pitkäaikaisvaikutuksia männyn kasvuun ja totesivat sen näkyvän kasvupaikan tuottavuuden (mitattu pituutena) paranemisena 24–71 vuoden kuluttua muokkauksesta. Mätästyksen on todettu parantavan lehtipuista mm. rauduskoivun (Raulo ja Rikala 1981) ja tammen (Löf ym. 2006) kasvua muokkaamattomaan maahan istutukseen verrattuna. Maanmuokkaus vähentää myös istutettujen puiden välistä pituusvaihtelua (Johansson ym. 2013a) (Kuva 19).



**Kuva 19.** Muokkaamattomaan maahan (vasen) verrattuna maanmuokkaus (palleauraus, oikealla) lisää puuston kasvua ja parantaa puuston tilajärjestystä. Kuva on otettu Metsäntutkimuslaitoksen perustamalta koelueelta Karkkilasta 24 vuoden kuluttua kuusen taimien istutuksesta. Kuvat: Erkki Oksanen/Luke.

Maanmuokkausmenetelmät vaikuttavat kasvuun eri tavalla. Laikutuksen vaikutus kasvuun ei ole yhtä voimakas kuin muiden muokkausmenetelmien (Bergquist ym. 2009) ja äestysjäljessä pituuskasvu on vähäisempää kuin mättäillä (Saksa ym. 2005, Saksa ja Kankaanhuhta 2007, Siipilehto ym. 2015). Eri mätästysmenetelmien (laikku-, kääntö- ja ojamätäs) välillä ei ole havaittu pituuskasvueroja hienojakoisilla mailla parin istutuksen jälkeisen vuoden aikana, joskin muokkaus paransi kasvua muokkaamattomaan maahan verrattuna (Heiskanen ym. 2013, 2016). Maanmuokkausmenetelmien vertailuja on tehty lehtipuilla havupuita vähemmän. Kääntömätästyksellä saavutettavat kasvuedut voivat olla jopa voimakkaampia koivulla kuin havupuilla (Bergquist ym. 2009).

Pituuskasvun ohella maanmuokkaus vaikuttaa puuston maanpäälliseen kokonaisbiomassaan (Kuva 17b). Muokattuun maahan istutetuilla taimilla kokonaisbiomassa voi olla jopa nelinkertainen muokkaamattomaan maahan verrattuna kolmen vuoden kuluttua istutuksesta (Johansson ym. 2007). Kasvillisuuden - sisältäen puuston ja pintakasvillisuuden - maanpäällisen kokonaisbiomassan on todettu olevan samansuuruisia muokatussa ja muokkaamattomassa maassa. Muokatussa maassa biomassan

lisäys kohdistuu istutustaimiin, muokkaamattomalla maalla muuhun pintakasvillisuuteen (Johansson ym. 2013b).

## 5.5. Muokatulla maalla istutustaimien juurtuminen nopeaa

Maanmuokkaus nopeuttaa taimien juurtumista ja parantaa sitä kautta niiden mukautumista kasvupaikalle ja myöhempää kasvua (Grossnickle 2005, Heiskanen ja Rikala 2006) (Kuva 20). Parempaa juurten kasvua on selitetty mm. muokatun maan alhaisemmalla tiiviydellä ja korkeammalla maan lämpötilalla (Örlander 1986) ja näistä johtuvalla paremmalla juurten typen- ja vedenotolla (Nordborg ym. 2003). Vaikutukset juuristoon näkyvät vielä yli 10 vuoden kuluttua istutuksesta (Heineman ym. 1999). Esimerkiksi mättäällä kasvaneilla valkokuusen taimilla juurten kasvun (mitattu juurten poikkileikkauspinta-alojen summana 50 cm päästä taimesta) on havaittu olevan viisinkertainen ja juurten määrän 2,5-kertainen muokkaamattomassa maassa kasvaneisiin taimiin verrattuna 12 vuoden kuluttua istutuksesta (Heineman ym. 1999).

Muokkaus lisää juuriston kokoa ja ennen kaikkea sen syvyyttä (Rautiainen ja Kubin 1997). Erityisesti männynlämmällä kohonnut maan lämpötila lisää juurten kasvua (Söderström 1977). Myös maanmuokkausmenetelmä vaikuttaa juurten kasvuun ja juuriston rakenteeseen. Tämä tuli esille latvialaistutkimuksessa, jossa männyn juuristo kasvoi syvemmälle laikkumättäissä kuin äesjäljessä (Celma ym. 2019). Sen sijaan pinnallisemmän juuriston lajina kuusella vastaavia eroja ei ollut. Tutkimuksessa taimet istutettiin äesvaon ja palteen taitekohtaan ja taimien juuristo suuntautui vaon suuntaisesti. Sen sijaan laikkumättäillä juuret jakautuivat tasaisemmin eri suuntiin kuin äesvaossa (Celma ym. 2019).



**Kuva 20.** Juuristo on runsasta muokatussa maakerroksessa. Kuva: Erkki Oksanen/Luke.

## 5.6. Maanmuokkaus ja taimen koko

Maanmuokkausmenetelmän valinta ei ole irrallaan muista uudistamisketjun valinnoista. Muokkausmenetelmien kehittymisen myötä istutuksessa käytettävien taimien kokoa on voitu pienentää (Kuva 21). Samalla niiden tuotanto-, varastointi- ja kuljetuskustannukset ovat pienentyneet ja istuttaminen nopeutunut (Rikala 2006).

Huolimatta maanmuokkauksen vaikutuksista isommat taimet säilyvät elossa paremmin ja kasvavat nopeammin kuin pienet (Saksa ja Kankaanhuhta 2007). Ruotsalaistutkimuksessa samanikäiset, mutta kookkaammissa paakuissa kasvatetut isommat kuusen ja männyn taimet säilyivät paremmin elossa äestäjälkeen istutettuina kuin pienemmät (Johansson ym. 2015). Toisaalta Holmström ym. (2019) eivät havainneet Etelä-Ruotsissa eroa äestysjälkeen istutettujen paaku- ja paljasjuuristen kuusen taimien välillä kolmen vuoden kuluttua istutuksesta. Istutustaimilla maastomenestymisen kannalta pituutta oleellisempi tunnus on niiden istutushetken läpimitta: tanakoilla taimilla on parempi juuristo (Grossnickle ja MacDonald 2017 ja viitteet siinä) ja paksummat taimet kestävät myös paremmin tukkimiehentäin syöntiä (mm. Thorsén ym. 2001).



**Kuva 21.** Mätästys on mahdollistanut taimien kasvatuksen muuttamisen niin, että esimerkiksi koivun paakutaimien kokoa on voitu pienentää. Aiemmin isot koivut istutettiin lehdettöminä kuokalla keväällä, nykyisin pottiputkella on mahdollista istuttaa myös lehdellisiä taimia. Kuvat: Erkki Oksanen/Luke.

Jalostettu metsänviljelymateriaali parantaa puuston kasvua 10–40 % (Haapanen ja Kärkkäinen 2017). Suurimmat kasvunlisät saadaan rauduskoivulla ja männyllä. Nykyisin saatavissa olevalla 1,5-polven männyn siemenviljelyksiltä kerättyä siementä käyttämällä voidaan saavuttaa 20–25 % kasvunlisäys ja 15 vuotta lyhyempi kiertoaika (Haapanen ja Kärkkäinen 2017). Taimien nopeakasvuisuus lisää niiden selviytymistä istutuksen jälkeen. Taimet ohittavat tukkimiehentäille alttiin vaiheen hidaskasvuaisia taimia nopeammin ja kilpailevat paremmin pintakasvillisuutta vastaan. Metsänjalostuksen ansiosta kasvunopeus saattaa pienentää taimen lähtökoon ja maanmuokkauksen merkitystä istutustulokseen. Tämänhetkisen tutkimustiedon valossa jalostetun metsänviljelyaineiston käytöllä ei kuitenkaan voida kompensoida esimerkiksi maanmuokkauksen puuttumista.



## 5.7. Viljely muokkaamattomaan maahan

Männyn siementen itäminen muokkaamattomassa maassa on heikkoa (mm. Karlsson ja Örlander, 2000, Kuuluvainen ja Juntunen 1998, Wennström ym. 1999). Jos mäntyä kylvettäisiin muokkaamattomaan maahan, jouduttaisiin käyttämään 4–5-kertaista siemenmäärää muokattuun maahan verrattuna. Käytännössä tämä tarkoittaisi 1,2–1,5 kiloa siementä hehtaarille. Jalostetun siemenen tuotantoon tehtyjen suurten investointien näkökulmasta näin suuren siemenmäärän käyttäminen on tuhlailevaa ja metsänomistajalle erittäin kallista. Olemassa olevien männyn siemenviljelysten siementuotanto ei myöskään riitä näin suureen siemenkulutuksen lisäykseen.

Istutuksen onnistumista muokkaamattomassa maassa voi pyrkiä parantamaan istuttamalla suuria taimia, jotka selviävät tukkimiehentäin ja myyrien tuhoista sekä pintakasvillisuuskilpailusta pieniä paremmin. Taimien kilpailu pintakasvillisuuden kanssa on kuitenkin pääosin juuristikilpailua ravinteista ja vedestä, sillä pintakasvillisuus ottaa niitä taimia tehokkaammin (Nilsson ja Örlander 2003). Lisäksi pintakasvillisuudella (esim. metsälauha, variksenmarja, kanerva) on allelopaattisia vaikutuksia, jotka estävät taimien kasvua (Hyppönen ym. 2013, Jarvis 1964, Nilsson ym. 1993). Mekaaniset suojat tukkimiehentäitä ja myyriä vastaan voivat kompensoida muokkaamattomuutta, joskin suojien hinta on korkea eikä niillä ole vaikutusta pintakasvillisuuskilpailuun eikä siten taimien kasvuun. Muokkaamattomalla maalla myös kuivuustuhojen todennäköisyys on suurempi (Nilsson ja Örlander 1995). Se voi olla riski, jos kevät- ja kesäaikaiset kuivuuskaudet yleistyvät ilmastonmuutoksen myötä (Ruosteenoja ym. 2018).

Maanmuokkauksen korvaajana on tutkittu myös erilaisia uudistusalalle muualta tuotavia kateaineita, kuten puun tuhkaa tai erilaisia maaseoksia (Heiskanen ja Viiri 2001, Örlander ja Wallertz 2007, Heiskanen ym. 2018). Niillä voidaan yleensä vähentää pintakasvillisuuskilpailua, mutta vaikutukset tuhoihin riippuvat katemateriaalista. On todennäköistä, että tukkimiehentäin tuhoja vastaan tarvitaan taimien tehokasta suojaamista muilla keinoin sekä nykyistä isompia taimia. Myöskään katemateriaalien pidemmän aikavälin kasvuvaikutuksista ei ole tutkittua tietoa. Todennäköisesti vaikutukset ovat maanmuokkausta vähäisempiä, koska maanmuokkauksen positiiviset vaikutukset maan tiiviyn vähentämiseen ja ravinteiden vapautumiseen jäävät saavuttamatta. Menetelmän kustannukset nousevat todennäköisesti korkeaksi, koska katemateriaali joudutaan kuljettamaan ja levittämään uudistusalalle.

## 6. Maanmuokkaus turvemilla

Markku Saarinen

Vuonna 1928 säädetyin ensimmäisen metsänparannuslain seurauksena alkoi maassamme runsaan vuosikymmenen kestänyt ennennäkemätön soiden uudisojituksen aikakausi. Tämän sotien jälkeen päättyneen lapio-ojituskauden tuloksena kuivattiin suota lähes miljoona hehtaaria (Hökkä ym. 2002). Nämä ojitusalueet ovat saavuttaneet jo 80–90 vuoden kuivatusiän. Jo kuivatushetkellä puustoa kasvavina, osa niistä on ollut jo pitkään uudistamiskypsässä vaiheessa tai uudistaminen on edessä viimeistään lähimmän vuosikymmenen aikana. Etelä- ja Kaakkois-Suomessa tyypillinen tuon aikakauden ojitusalue on jokin ns. aidoista korpityypeistä, ruoho-, mustikka- ja kangaskorvet tärkeimpinä (Keltikangas ym. 1986). Rämetyyppien osuus on kuitenkin merkittävin Pohjanmaalla, Kainuussa ja Lapissa, jossa myös suurin osa maamme alkuperäisestä 10 miljoonasta suohehtaaristakin sijaitsee.

Vuosikymmenien saatossa on osa kaikkiaan yli viidestä miljoonasta ojitetusta suohehtaarista muutunut ohutturpeisuuden vuoksi kangasmaaksi ja osa on otettu muuhun kuin metsätalouden käyttöön. Kun jäljellä olevista vähennetään vielä kitu- ja joutomaan ojitusalueet, jää metsämaaksi luokiteltavia ojitetuja turvemaita noin neljä miljoonaa hehtaaria. Nämä ojitetut turvemaametsät ovat vielä valtaosin nuoria ja varttuneita kasvatusmetsiä, mutta niillä ollaan yhä nopeutuvassa tahdissa siirtymässä seuraavan puusukupolven uudistamisen vaiheeseen. Samalla mäntyvaltaisten metsien osuus uudistettavista ojitusalueista lisääntyy voimakkaasti suhteessa kuusi- ja lehtipuuvaltaisiin uudistamiskohteisiin. Lähitulevaisuuden metsänuudistaminen ojitetuilla soilla onkin erityisesti mäntyvaltaisten varpu- ja puolukkaturvekankaiden uudistamista. Valtakunnan metsien 11. inventoinnin (2009–2013) mukaan turvemaiden uudistamishakkuiden pinta-ala inventointia edeltäneellä 10-vuotiskaudella oli 207 000 ha, mikä oli vajaa 14 % ajankohdan uudistamishakkuiden kokonaisalasta (Korhonen ym. 2017).

Turvemaiden metsien uudistaminen on tällä hetkellä suurten muutospaineiden edessä. Kaikki jaksolliseen metsätalouteen pohjautuvat uuden puusukupolven perustamisen menetelmät lisäävät vesistöjen ravinteiden ja orgaanisen aineksen kuormitusta (Finér ym. 2010, Kaila ym. 2014, Nieminen ym. 2015). Uudistamistoimet lisäävät myös kasvihuonekaasujen kannalta ongelmallista turpeen vedenpinnan syvyysvaihtelua. Tämä koskee kaikkia uudistamistapoja, niin avohakkuita maanmuokkauksiin ja viljelyineen, kuin myös luontaiseen uudistumiseen tähtääviä siemenpuuhakkuita. Turvemaiden metsätalouden yhteiskunnallinen hyväksyttävyyden riippuu siitä, miten nämä ympäristövaikutukset pystytään minimoimaan. Tärkeimpänä ratkaisumallina on pidetty jatkuvasti peitteelliseen metsätalouteen siirtymistä, joka laajamittaisena toteutuessaan vaikuttaisi hyvin voimakkaasti eri maanmuokausmenetelmien käyttötärpeeseen. Tämän kaltaisen tulevaisuusnäkömyksen mukaan varsinkin mäntästyksen osuus tulisi olennaisesti vähenemään ja samalla kevyiden pintamuokkausvaihtoehtojen osuus lisääntymään. Eniten lisääntyisivät sellaiset metsän kasvatuksen menettelyt, joissa maata ei muokata lainkaan. Niissä hyödynnettäisiin mahdollisimman paljon luontaisia alikasvoksia sekä taimiainesta. Sillä tavoiteltaisiin pienialaisina puustoryhminä vaihtelevaa puuston erirakenteisuutta tai säännöllisen eri-ikäisrakenteista jatkuvaa kasvatusta. Tähän pyrittäisiin erimittaisten siirtymävaiheiden kautta soveltamalla aluksi yläharvennustyyppisiä hakkuita, ylispuustojen poistoja sekä pienauko- ja kaistalehakkuita.

### 6.1. Taimettumiseen vaikuttavat tekijät turvemilla

Turvemilla erityisesti luontaisen uudistamisen tulos vaihtelee kangasmaita enemmän turpeen vesipinnan syvyyden ja ojitusvaikutuksesta syntyneen kasvillisuuden vaihtelun mukaan. Vesipinnan syvyyden vaikutus taimettumisalustan kosteuteen riippuu lisäksi turpeen pinnalle ojituksen jälkeen

kehittyneestä karikerrostumasta. Tehokkaasti kuivatetuilla vanhoilla ojitusalueilla rahkasammalkasvustot ovat hävinneet jo varhain kuivatushistorian aikana. Tällöin turpeen pinnalle on ehtinyt kerrostua puiden ja pintakasvillisuuden karikemassaa eli raakahumusta (Kaunisto ja Päivänen 1985, Saarinen ja Hotanen 2000, Saarinen 2013). Raakahumus hidastaa tai katkaisee turpeen vesipinnan ja taimettumisalustan välisen kapillaariyhteyden. Tämän seurauksena kasvualustan taimettumisherkkyys heikkenee ja muokkauksen tarve lisääntyy.

Mitä heikompi tai lyhytaikaisempi ojituksen jälkeinen kuivatusvaikutus on ollut, sitä enemmän kasvualustassa on jäljellä suon alkuperäistä rahkasammalkasvustoa. Rahkasammalet estävät karikerrostumien syntymistä ja ovat ojitusalueilla hyvä itämisalusta puiden siemenille (Place 1955, Heinselmann 1957, Sarasto ja Seppälä 1964, Wood ja Jeglum 1984, Groot ja Adams 1994, Saarinen 2002). Hyvä uudistumistulos ja sirkkataimien varttuminen kuitenkin edellyttävät, että vesipinnan taso on loppukesällä riittävän syvällä (Mueller-Dombois 1964, Mannerkoski 1985, Saarinen 2013). Tästä johtuen huonossa kuivatustilassa olleilla ojitusalueilla on tehtävä muokkauksen yhteydessä kunnostusojitus tai muokkaus on tehtävä ojitusmätästyksenä.

Kapillaarikontaktin taimettumista edistävä vaikutus heikkenee, kun raakahumuskerrostuman paksuus lisääntyy. Vastaavasti kapillaarisuuden vaikutus on erityisen voimakas silloin, kun pintakasvillisuus ja raakahumus poistetaan ja turvepinta paljastetaan (Kaunisto 1971, Saarinen 2013, Saarinen ym. 2013). Tällöin ei ole suositeltavaa antaa turpeen vesipinnan nousta liian korkealle. Vedenpinnan voimakas nousu on kuitenkin mahdollista avo- ja siemenpuuhakkuun jälkeen, jos peruskuivatus on huonossa kunnossa tai ojitusalueen reuna- eli niskaojat puuttuvat runsaasti vettä syöttävien kangasmaiden laidoilta. Tällaisissa tapauksissa kunnostusojitus voi olla tarpeellinen toimenpide heti uudistamisen yhteydessä. Ojitetuilla turvemaidella muokkausmenetelmän valinnassa pitää yleensä aina huomioida uudistettavan kohteen ojaverkoston kunto ja uudistusalan kuivatuksen tila.

Raakahumuksen paksuudessa ja rakenteessa on paljon puustosta ja viljavuustasosta riippuvaa vaihtelua. Paksuinta, ilmapinta ja pintaosistaan nopeimmin kuivuvaa raakahumusta esiintyy todennäköisimmin mäntyvaltaisten puolukka- ja varputurvekankaiden hyvin kuivuneilla ojitusalueilla, joilla laajat seinä- ja kynsisammalien kasvustot ovat merkinä jo pitkään jatkuneesta turvekangasvaiheesta (Saarinen ja Hotanen 2000). Varputurvekankailla voi runsaan rämevarvuston juurihuovasto lisätä kerrostuman ilmapuutusta, jolloin sen kuivumisherkkyys on erityisen suuri. Korpikuusikoiden ja lehtipuuvältaisten ojitusalueiden raakahumus on yleensä varsin ohut ja tiivis, jolloin taimettumisherkkyys säilyy useimmiten melko hyvänä ilman muokkausta. Tästä on hyvänä esimerkkinä korpikuusikon pienaukohakkuiden jälkeinen taimettuminen, joka perustuu uusien sirkkataimien syntymisen lisäksi usein jo ennen hakkuuta esiintyvään runsaaseen taimiainekseen (Hökkä ym. 2011, 2013, Hökkä ja Repola 2018).

## 6.2. Maanmuokkaus turvemaiden kylvössä ja luontaisessa uudistamisessa

Edellä kuvatun korpikuusikon tapauksessa muokkaus olisi vain haitaksi, sillä sen myötä tuhottaisiin jo olemassa olevaa taimiainesta. Muokkaus voi olla, jos ei haitallista, niin ainakin merkitykseltään varsin vähäistä myös sellaisilla mäntyvaltaisilla ojitusalueilla, joilla raakahumus on hyvin ohutta ja joilla on runsaasti rahkasammalpintoja. Muokkaus edistää männyn taimettumista, mutta toisaalta se lisää tietyillä turvekangastyypeillä myös siemensyntyisen hieskoivun määrää. Koska hieskoivun poistaminen taimikonhoitovaiheessa on työlästä, voi olla järkevää jättää maanmuokkaus tekemättä. Ilman muokkaustakin saattaa männyn taimitiheys olla lopputuloksen kannalta riittävä (Hökkä ym. 2016, Hytönen 2019).

Kylväen tai luontaisesti syntyvän taimettumisen edistämiseksi valittavan muokkausmenetelmän edut ja haitat riippuvat myös siitä, millaisia ovat siementen itämisen ja sirkkataimien kehitysvaiheiden aikaiset lämpöolot, sateiden määrä ja niiden ajallinen vaihtelu. Sateet ja haihdunta vaikuttavat voimakkaasti vedenpinnan tasoon ja muokatussa turpeessa myös turpeen vesipitoisuuteen. Sateisina ja kylminä kasvukausina taimia syntyy heikosti itämisalustasta riippumatta. Keskimääräistä sadantaa edustavan kasvukauden aikana mätätetyn uudistamisalan taimettumistulos on todennäköisesti parempi kuin laikutetulla alueella. Tämä ilmenee varsinkin sellaisina vuosina, jolloin vedenpinnan taso laikuissa nousee loppukesän aikana liian korkealle. Laikkujen kaltaiset pintamuokkausjäljet ovat parhaimmillaan keskimääräistä kuivempien ja lämpimämpien kasvukausien aikana (Saarinen 2013). Samoissa sääoloissa mättäät voivat kuivua liikaa. Tämä johtuu kuivan turpeen vettä hylkivistä ominaisuuksista (Naasz ym. 2008, Szajdak ja Szatyłowicz 2010). Turvelajista ja turpeen maatuneisuudesta riippuen turvemättäeseen voi syntyä vettä hylkivä pintakerros (Saarinen 2013).

Laikutus, äestys, jyrshintä tai muu turpeen pinnan myötäisesti tehty kevyt muokkaus ovat toimivia ratkaisuja, mikäli poistetaan vain pintakasvillisuus ja mahdollinen pintakasvillisuuden alla oleva raakahumuskerros (Kuva 22). Muokkauksessa on vältettävä koskemasta raakahumuksen alla olevaan turvekerrostumaan ja pyrittävä lähinnä elävän sammalkasvuston poistamiseen. Tällöin laikkupintoihin jää usein myös raakahumusta. Koska maatunut pintaturve on huonosti vettä läpäisevää, ei siihen saa syntyä vettä kerääviä painaumia. Mikäli tavoiteltaisiin paljaita turvepintoja, syntyisi kaivurityöskentelyn epätarkkuus huomioon ottaen herkästi liian syviä laikkuja (Saarinen 2013). Erilaiset jyrshinratkaisut ovat toimivia, jos sekoitetaan raakahumusta ja sen alaista turvetta niin, että muokkausjälki jää koholle eikä synny painaumia (Helenius ja Saarinen 2013). Jyrshinnän on ulotuttava laikutuksesta poiketen riittävän syvälle, jotta jyrshintäjälki muodostuisi myös kosteutta sitovasta maatuneesta pintaturpeesta eikä pelkästään raakahumuskerroksesta.



**Kuva 22.** Laikutus edistää männyn luontaista uudistumista turvemaille edellyttäen että ojitusalueen kuivatus on kunnossa. Kuva: Markku Saarinen/Luke.

Sateiden aiheuttaman vedenpinnan tason vaihtelun vuoksi laikutus on tarkoituksenmukainen maanpinnan valmistusmenetelmä vain silloin, kun sirkkataimia on mahdollista syntyä usean vuoden aikana eli luontaisen uudistamisen yhteydessä. Kylvö on turvallisinta tehdä mättäisiin, mutta jos mahdollista, mieluummin manuaalisena vakokylvönä. Konekylvössä siemenet jäävät mättään pinnan turpeeseen, joka kuivuu herkästi heikentäen itävyyttä. Kylvö on tehtävä mahdollisimman pian mätästykseen jälkeen ennen mättäiden pintakerrosten kuivumista.

Luontaista uudistamista edistävänä maanmuokkausmenettelyinä olisi pintamuokkausmenetelmien lisäksi syytä soveltaa mätästystapoja, joissa turvemassaa ei nosteta kokonaan irti vedenpinnan kapillaarikontaktista. Yksi tähän tavoitteeseen soveltuva menetelmä on kääntömätästys, jossa kauhallinen turvetta käännetään ylösalaisin omaan kuoppaansa. Tällöin tavoitteena on muodostaa laakeita ja matalia kohoumia, joissa ei ole laikuille ominaisten pintavesikertymien ja liian korkealle nousevan vedenpinnan tason aiheuttamia kosteusongelmia. Samalla vähennetään pintaturpeen kuivumisriskiä, kun mättään pintaosien ja vedenpinnan tason kapillaarikontakti säilytetään.

Männyn kylvöt ovat onnistuneet useimmiten varsin hyvin mutta tulokset vaihtelevat kylvövuoden sääoloista riippuen kaikilla muokkauspinnoilla. Mikä tahansa maanpinnan rikkominen lisää selvästi männyn kylvötaimien määrää, eniten taimien määrä lisääntyy mätästetyillä kohteilla. Kuten aiemmin mainittiin, mättäillä itämisalustan pintakosteus kuitenkin vaihtelee suuresti.

### 6.3. Istutukseen soveltuvat muokkausmenetelmät turvemaidella

Istutuksessa turvallisina muokkausmenetelmänä kylvön tapaan on mätästys. Istutetuille taimille mättäiden pintakerroksen kuivuminen on harvoin ongelma, sillä turvemätäs ei yleensä kuivu enempää kuin noin 3–5 cm:n paksuisesta pintakerroksesta (Saarinen 2013). Istutustaimien juuripaakku yltää riittävän syväälle sellaisiin mättään turvekerroksiin, joiden kuivuminen voi olla ongelma vain poikkeuksellisen kuivina ja helteisinä kasvukausina.

Kuusella mättäisiin tehty istutus on tutkimustulosten mukaan varmin viljelyvaihtoehto turvemaidella. Kuusen istutuksessa rouste ja halla uhkaavat taimia. Pohjois-Karjalassa, Kainuussa ja Lapissa tehdyssä tutkimuksessa tällaisista kuusen istutustaimista vain alle 10 % oli kuollut kuuden kasvukauden jälkeen (Moilanen ym. 1995). Rouste nosti muutaman prosentin paakutaimista.

Kauniston (1984) tutkimuksessa karun korven uudistamisalalla istutustaimien pääverson hallavaurioiden esiintymisen todennäköisyys oli avoalojen muokkaamattomilla pinnoilla kaksinkertainen verrattuna koivuverhopyuston alla mätäspinoilla kasvaneisiin taimiin. Vastaavaa eroa ei kuitenkaan ollut, kun verhopyuston suojassa olleita taimia verrattiin avoalan mättäille istutettuihin taimiin. Istutustaimista oli hallavaurioistaan huolimatta lähes kaikki elossa kymmenen kasvukauden kuluttua tehdyssä uusintainventoinnissa (Saarinen, julkaisematon aineisto).

Keski- ja Pohjois-Ruotsin viljavien korpikuusikoiden kokeissa taimien kuolleisuus oli neljän kasvukauden jälkeen 50 % muokkaamattomilla avoaloilla ja 30 % mätästetyillä kohteilla (Hånell 1992). Mätästetyillä suojuspuualoilla kuolleisuus oli 20 %. Kuolleisuuden ja hallavaurioiden suhteen ero avoalan mätästymien ja suojuspuuston mätästymien välillä oli merkitsevä. Suojuspuustoa pidettiin suotavana myös tukkimiehentäin tuhojen ehkäisemisen varalta.

Kuluvan vuosituhatvuoden aikaisista turvemaiden kuusen istutusten onnistumisesta on vain vähän tutkittua tietoa. Vuonna 2015 Pohjois-Karjalassa sekä Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalla tehdyn ja vielä keskeneräisen tutkimuksen otantaan osuneista 10–15 vuoden ikäisistä kuusen viljelyaloista vain harvat olivat kokonaisuudessaan onnistuneet. Viljelytaimet olivat korvautuneet luontaisilla männyn ja hieskoivun taimilla (Saarinen ja Niemistö, julkaisematon aineisto). Vaikka kuusen istutuksesta on turvemaidellakin paljon hyviä kokemuksia, kaipaavat mätästykseen ja istutukseen perustuvan kalliin vilje-

lyketjun kannattavuuden arviointi edelleen luotettavia ja valtakunnallisesti yleistettävissä olevia havaintoaineistoja.

Männyn istutustaimien menestymistä koskevassa tutkimuksessa (Mannerkoski 1975) karulle mänty-turvekankaalle istutetuista kolmevuotiaista männyn paljasjuuritamista oli mättäillä elossa 94 %, ja muokkaamattomalla pinnalla 72 % neljän kasvukauden jälkeen. Taimien pituudet olivat vastaavasti 80 cm ja 56 cm. Koealalle oli tullut runsaasti luonnontaimia etupäässä koivua, mutta myös mäntyä, taimimäärän vastatessa täysitiheän taimikon määriä molemmissa menetelmissä.

Turvemaiden metsänuudistamista 1970-luvulla tutkineissa kokeissa männyistä oli elossa 57–86 % runsaan kymmenen vuoden kuluttua siitä, kun taimet oli istutettu mättäisiin. Tutkituissa taimikoissa oli runsaasti kasvuhäiriöitä. Lisäksi sekä männyn että kuusen taimikoissa esiintyi runsaasti tyviosastaan lenkoja runkoja. Männyn pituuskasvu vastasi parhaimmillaan lehtomaisten kankaiden kasvun tasoa.

Rauduskoivun viljelykokeita on tehty istuttamalla taimia niin muokattuun kuin muokkaamattomaankin pintaan. Paksuturveisilla kasvupaikoilla rauduskoivun viljelytulokset ovat olleet vaihtelevia. Kourukuokalla käsittelemättömään pintaan istutetuista koivuista oli elossa vajaa 70 % kolmen kasvukauden jälkeen (Lehtiniemi ja Sarasto 1973). Joissain tapauksissa rauduskoivu on menestynyt hyvin paksuturveisellakin ojitusalueella. Tehokkaasti kuivatettujen, mätästettyjen ja lannoitettujen koekenttien kymmenen vuoden ikäisissä koivikoissa elossa olevien taimien osuudet vaihtelivat välillä 64–83 %. Eri puulajeista rauduskoivun pituuskasvu oli ylivoimaisesti paras ja kuusen hitain (Kaunisto 1985). Sen sijaan Kivalossa elossa oli vain viidennes mättäisiin istutetuista rauduskoivun taimista. Ohutturpeisilla mätästysaloilla rauduskoivun taimet ovat menestyneet melko hyvin (Moilanen ym. 1995). Taimista oli kuuden kasvukauden jälkeen elossa vähintään 85 % Pohjois-Karjalan, Kainuun ja Lapin koekentillä.

Yleisesti ottaen voitaneen sanoa että rauduskoivun viljely on varteenotettava vaihtoehto ainakin niillä ohutturpeisilla ojitusalueilla, joissa kasvualusta on pääosin kivennäismaata ja kuivatus on tehokas. Tämä toteutuu useimmiten ohutturpeisten korpikaistaleiden mätästetyillä uudistamisaloilla.

## 6.4. Myös alikasvoksia voi viljellä ilman muokkausta

Metsäntutkimuslaitoksen toimesta on perustettu kuusen viljelykokeita, joissa kuusen taimia on istutettu nuoreen hieskoivun kasvatusmetsään alikasvokseksi suoraan muokkaamattomaan maahan. Koivikon alle istutetuista kuusista 70–90 % on säilynyt terveinä 10–15 vuoden seurantajakson aikana riippumatta ylispuukoivikon tiheydestä. Alle kahden metrin pituisena kuusten kasvu riippui vain vähän ylispuuston tiheydestä. Varttuneemmat taimet hyötyivät selvästi koivikon harvennuksesta. Mustikkaturvekankaan viljavuustason ojitusalueilla kasvaneiden kuusten pituuskasvu elpyi noin 5–10 vuodessa samalle kasvun tasolle kuin alusta asti vapaana kasvaneet vastaavan kokoluokan kuuset.

## 6.5. Uudistamishakkuun ja muokkauksen jälkeiset kasvillisuuden muutokset

Varpu- ja puolukkaturvekankailla pohjakerroksen kasvillisuusmuutokset ovat vähäisiä uudistamishakkuun jälkeen. Toisinaan vedenpinnan tason nousu hakkuun jälkeen voi aiheuttaa rahkasammalpintojen leviämisen. Suurimmat muutokset liittyvät kenttäkerroksen lajistoon, jossa erityisesti tupasvillan peittävyys voi kasvaa erittäin voimakkaasti valaistuksen lisääntymisen ja vedenpinnan nousun myötä (Laine ja Vanha-Majamaa 1990, Saarinen ym. 2009). Erityisesti laikkuihin muodostuvan kasvillisuuden kehitys riippuu vedenpinnan tason vaihteluista. Kasvillisuuden kokonaispeittävyys laikuissa pienenee ja kehitys hidastuu huomattavasti, kun vedenpinnan taso vastaa hyvässä kuivatustilassa olevan ojitusalueen vedenpinnan tasoa. Puolukkaturvekankaalla laikkupintojen peittyminen kasvillisuuteen

riippuu selvemmin vedenpinnan tasosta kuin mustikkaturvekankaalla. Jos vedenpinnan taso on yli 30 cm:n etäisyydellä laikun pinnasta, pintakasvillisuusmuutokset ovat varsin hitaita (Saarinen ym. 2009). Uudistusalan kunnostusojitus heti muokkauksen yhteydessä on siten tehokas toimenpide pyrittäessä hidastamaan laikkupintojen peittymistä kasvillisuuteen. Mustikkaturvekankaalla karhunsammalet ja harmaasara peittävät laikkupintoja myös vedenpinnan tason ollessa syvemmillä. Tämän vuoksi laikujen säilyminen kasvipeitteettöminä on huomattavasti lyhytaikaisempaa kuin puolukkaturvekankailla myös silloin, kun vedenpinnan taso vastaa kunnostusojitusta seuraavaa kuivatustilaa. Laikutusta voidaankin suositella muokkausmenetelmäksi etupäässä puolukka- ja varputurvekankaille.

Mätästysaloilla suhteellisen kookkaat mättäät pysyvät pitkään kasvipeitteettöminä varsinkin silloin, kun ne on tehty syvältä nostetusta hyvin maatuneesta turpeesta. Hitaamman pintakasvillisuuskehityksensä ansiosta mättäät ovat laikkuja parempia taimettumisalustoja mustikkaturvekankailla (Kuva 23). Tämän viljavuustason ohutturpeisia uudistamisaloja mätästettäessä on kuitenkin syytä välttää tekemästä matalia alle 20 cm:n korkuisia kivennäismaasekoitteisia mättäitä. Ne peittyvät usein hyvin nopeasti kastikkakasvustojen alle.

Yleisen käsityksen mukaan ojitusalueiden uudistusaloille syntyy runsaammin hieskoivun taimia kuin vastaavien viljavuustasojen kangasmaakohteille. Vaihtelu on kuitenkin suurta riippuen lähinnä kasvillisuuskehityksen vaiheesta ja alkuperäisestä suotyypistä. Kosteiden rahkasammalpintojen esiintyminen on omiaan lisäämään siemensyntyisten hieskoivujen taimien määrää erityisesti, jos rahkasammalkasvusto jyrsitään tai laikutetaan (Saarinen 2002). Mikäli kyse on nevojen tai nevamaisten rämeiden ojitusalueista, voi niille kehittyneen puuston suuren koivutiheyden vuoksi uudistamishakkuun jälkeinen vesasyntyisten taimien määrä olla kangasmaakasvupaikkoihin verrattuina huomattavan suuri. Sen sijaan ns. aidoista rämetyypeistä kehittyneen mäntyvaltaisen varpu- ja puolukkaturvekankaan uudistusalan vesoituminen ei ongelmana välttämättä ole sen suurempi kuin kuivilla ja kuivahkoilla kankailla.



**Kuva 23.** Uudistamishakkuun jälkeen puolukkaturvekankaalle tehty naveromätästys. Kuva: Markku Saarinen/Luke.

## 7. Maanmuokkauksen kustannustehokkuus ja talousvaikutukset

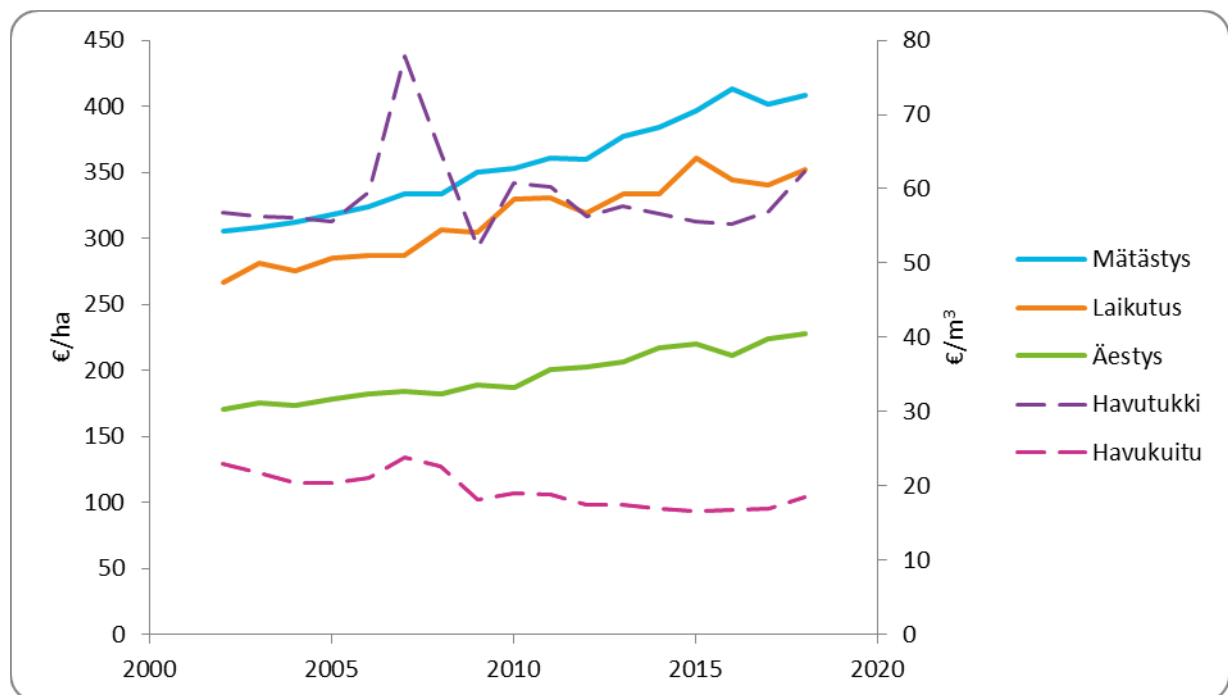
Karri Uotila

### 7.1. Maanmuokkaus investointina

Maanmuokkaus on taloudellisessa mielessä investointi, joka nostaa metsikön hakkuutuloja tai lyhentää kiertoaikaa. Seuraavassa takastellaan sitä, onko maanmuokkausinvestointi ylipäätään kannattava kivennäismaiden viljelykohteilla.

Maanmuokkauksen tuottavuutta on kehitetty keskittyen työn laatuun etenkin istutuksen yhteydessä. Käyttöön on otettu kalliimpia ja taimien kannalta viljelyvarmempia menetelmiä. Esimerkiksi äestystä on korvattu 1990- ja 2000-luvuilla mätästykseä (Metsätilastollinen vuosikirja 2014). Tuloksena on ollut taimien hyvä kasvu ja alhainen kuolleisuus. Laadun kehittäminen on ollut järkevää, koska kaikki menetelmät ovat olleet edullisia.

Viime vuosina maanmuokkauksen kustannustaso on noussut voimakkaasti ja kantohinnat ovat laskeutuneet (Kuva 24). Kehitys on huolestuttava metsänhoitoinvestointien kannattavuuden näkökulmasta. Maanmuokkaukuskustannusten nousu johtuu ennen kaikkea palkkatason ja konekustannusten noususta (Suomen virallinen tilasto 2019a, 2019b). Eri maanmuokkausmenetelmien tuottavuus ei ole todennäköisesti heikentynyt.



**Kuva 24.** Reaalinen maanmuokkausmenetelmien kustannustaso ja havupuun kantohintataso Suomessa vuosina 2002–2018. Havupuun hinta on keskiarvo männyn ja kuusen keskimääräisistä hinnoista. Nimellishinnat on korjattu elinkustannusindeksillä vuoden 2018 arvoon. Lähteet: Metsätilastollinen vuosikirja (2014), Suomen virallinen tilasto (2019a) ja Suomen virallinen tilasto (2019c).



## 7.2. Maanmuokkauksen ajanmenekki ja kustannukset

Maanmuokkauksen kustannukset riippuvat käytettävästä menetelmästä, koneesta sekä työkohteesta. Kiinteät kustannukset ja siirrot muodostavat suurimman osan maanmuokkauksen kustannuksista. Siksi maanmuokkaus on kannattavinta suurilla metsänviljelyalueilla (Rantala ym. 2010, Löf ym. 2012). Työkohteen sisäisistä tekijöistä maanmuokkauksen tuottavuutta alentavat erityisesti runsas hakkuutähteiden määrä ja kivisyys (Saarinen 2006, Rantala ym. 2010).

Nykyiset maanmuokkausmenetelmät jakaantuvat kustannuksiltaan karkeasti ottaen kahteen luokkaan: edullisemmat jatkuvatoimiset menetelmät (äestykset, jatkuvatoiminen mätästys tai laikutus) ja kalliimmat pistemäiset kaivinkonemenetelmät (laikutus, mätästys). Lisäksi on menetelmiä, joissa viljely on yhdistetty muokkaukseen. Näitä ovat koneistutus ja -kylvö.

Kaivinkonemätästyksen tuottavuus on 0,09–0,38 ha/h (Brunberg ja Fries 1985, von Hofsten ja Petersson 1991, Uusitalo 2003, Saarinen 2006, Rantala ym. 2010). Jatkuvatoimisen mätästyksen tuottavuus on 3–5-kertainen kaivinkoneella tehtävään mätästykseen (0,9–1,31 ha/h) (Saarinen 2006, Rantala ym. 2010). Äestyksen tuottavuus on noin 1 ha/h (Uusitalo 2003, Rummukainen ym. 2011). Jatkuvatoimiset menetelmät ovat tuntikustannukseltaan kalliimpia kuin kaivinkonepohjaiset muokkausmenetelmät, joten hehtaarikustannuksissa menetelmien erot eivät ole yhtä suuria kuin tuntituotoksessa (Rantala ym. 2010, Hallongren ym. 2014). Jatkuvatoimiset muokkausmenetelmät ovat suuren tuntituotoksen ansiosta kustannustehokkaita etenkin suurilla pinta-aloilla toimittaessa. Jatkuvatoimisen mätästyksen muokkauksen laatu on ollut heikompaa kuin kaivinkonemätästyksen (Rantala ym. 2010). Kaivurimätästys on edelleen pääasiallinen mätästysmenetelmä. Jatkuvatoiminen mätästys sopii parhaiten vähäkivisille kohteille, joilta on kerätty hakkuutähteet (Saarinen 2006, Rantala ym. 2010, Saksa ym. 2018).

Koneistutuksessa ja konekylvössä kustannustehokkuutta tavoitellaan maanmuokkauksen ja viljelyn yhdistämisellä. Menetelmät vähentävät työlajeihin kuluva kokonaistyöaika erilliseen muokkaukseen ja viljelyyn verrattuna (Rummukainen ym. 2011, Hallongren ym. 2014). Koneistutuksella ei ole vielä saavutettu kustannussäästöjä. Konetyö on istutuksen osalta miestyötä kalliimpaa ja istuttaminen ja taimikasettien täyttö vievät vielä melko suuren osuuden koneistutuksen työajasta (Laine ja Rantala 2013).

Konekylvö on kustannustehokas kylvömenetelmä (Rummukainen ym. 2011). Konekylvössä siementen syötön yhdistäminen maanmuokkaukseen ei juuri nosta työajanmenekkiä. Siementen käsittely ja kylvölaitteisto aiheuttavat silti muutaman kymmenen euron hehtaarikohtaisen lisäkustannuksen (Rummukainen 2011, Nygren 2011); kun pelkän äestyksen kustannus on hieman yli 200 €/ha (Kuva 24), niin konekylvön kustannus on noin 250 €/ha. Käsinkylvöön verrattuna konekylvö on tuottava menetelmä. Yli-Vakkurin (1956, viitannut Rummukainen 2011) mukaan käsinkylvön ajanmenekki hajakylvössä on n. 1,5 pv/ha. Olettaen metsurin päiväkustannukseksi 200 €, käsinkylvössä työn kustannus ilman maanmuokkausta on noin 300 €/ha. Pelkkä käsinkylvö on siis noin 50 €/ha kalliimpaa kuin konekylvö, jossa on yhdistetty kylvö ja muokkaus. Äestyksen kanssa käsinkylvön kustannus on noin 500 €/ha. Muokkaamattomaan maahan kylvöä ei kannata tehdä, vaikka siinä säästää muokauskustannuksissa, muokkaamattomassa maassa siementen itävyys on huono (ks. luku 5.7).

## 7.3. Vaikutukset muihin kustannuksiin

Muokattuun maahan on helpompi istuttaa kuin muokkaamattomaan. Maanpinnan rikkominen saattaa joissakin tapauksissa hankaloittaa maastossa kulkua ja siten istutus- ja taimikonhoitotyötä. De Franchesi ja Steelen (1987) mukaan muokattuun maahan pottiputkella istutuksen tuottavuus (353 kpl/h) on 1,6–2-kertainen muokkaamattomaan maahan (177–216 kpl/h) verrattuna. Tutkimuksessa

oli kuitenkin eroja istutuskäytännössä ja muokatulta alalta oli poistettu hakkuutähteet. Nämä erot edesauttoivat istutuksen tuottavuutta muokatulla alalla. Appelrothin ja Harstelan (1970) mukaan kourukuokalla muokattuun peltoon (169–173 kpl/h) istutuksen tuottavuus oli 1,6-kertainen muokkaamattomaan peltoon (96–119 kpl/h) istutukseen verrattuna. Todennäköisesti maanmuokkauksen vaikutus istutettaessa pottiputkella metsämaahan on jonkin verran vähäisempi.

Yksi keskeinen maanmuokkauksen tavoite on vähentää pintakasvillisuuden tuotantopuustolle aiheuttamaa kilpailua (Nilsson ja Örländer 1999, Boateng ym. 2009). Heinäntorjuntatarve ja myös sen kustannus ovat muokkaamattomilla aloilla suurempia kuin muokatuilla aloilla. Esimerkiksi mätätetyt taimikot selviävät pintakasvillisuuden kannalta ensimmäiset kriittiset vuodet usein ilman heinäntorjuntaa, laajassa Etelä-Suomessa inventoidussa aineistossa tuoreella kankaalla heinäntorjuntatarvetta esiintyi vain 11 % ja lehtomailsilla kankailla 23 % laikkumätätetyistä taimikoista (Saksa ja Kankaanhuhta, julkaisematon aineisto). Äestys- ja laikutusalueilla tarve oli 5–10 prosenttiyksikköä suurempi.

Muokkauksessa paljastettu kivennäismaa lisää myös haitallisen lehtipuuston itämistä ja nostaa siten taimikonhoidon kustannuksia (Raulo ja Mälkönen 1976, Uotila ym. 2010, Uotila ym. 2014). Toisaalta maanmuokkaus parantaa yleensä tuotantopuuston kasvua. Hyvä kasvu lisää hakkuutuloja ja mahdollistaa varhaisemman taimikonhoidon (Uotila ym. 2010). Taimikonhoidon jälkeen hyvin kasvava tuotantopuusto säilyttää paremmin valta-asemansa kasvukamppailussa lehtipuuvesoja vastaan. Taimikonhoidon kustannukset nousevat perattavan puuston järeytyessä tyypillisesti 5–12 % vuodessa (Kaila ja Liikanen 2004, Kaila ym. 2006, Uotila ym. 2014).

Vaikutukset metsänhoidon myöhempiin kustannuksiin vaihtelevat muokkausmenetelmittäin. Esimerkiksi kaivinkoneella tehtävä mätätys on kalliimpaa kuin äestys (Kuva 24), mutta äestykseen verrattuna se alentaa taimikonhoidon kustannuksia ja parantaa metsikön tuotosta. Tarkasteltaessa kannattavuuseroja ensiharvennukseen asti, mätätys on äestystä kannatavampaa (Uotila ym. 2010).

## 7.4. Maanmuokkauksen kannattavuus

Metsikön kiertoaika on tyypillisesti useita kymmeniä vuosia. Siksi maanmuokkausta on tarkasteltu lähinnä lyhemmän jakson kustannustehokkuustarkasteluina (ks. 7.2.). Kuten aiemmin todettiin, koneellinen muokkaus-kylvö yhdistelmä johtaa parempaan lopputulokseen alhaisemmilla kustannuksilla kuin vaihtoehtoinen käsinkylvö muokkaamattomaan maahan. Nykyisessä taloudellisessa ympäristössä on kuitenkin oleellinen kysymys, onko muokkaamattomaan maahan istuttaminen taloudellisesti järkevä vaihtoehto? Seuraavassa esitetään laskelma uudistamisinvestoinnin kiertoajan nettonykyarvoista kaivinkoneella laikkumätätetyille ja muokkaamattomalle istutuskohteelle (Taulukko 2). Laskelmassa on käytetty pohjana katsauksessa aiemmin esitettyjä tietoja.

Laikkumätätetyssä kasvatusvaihtoehdossa on simuloitu Etelä-Suomessa sijaitsevan tuoreen kankaan kuusikon kasvu Motti-simulaattorilla hyvän metsänhoidon suositusten mukaisella kasvatusohjelmalla. Muokkaamattomassa kasvatusvaihtoehdossa pohjana on käytetty laikkumätätetyn kasvatusvaihtoehdon simuloinnin tuloksia, mutta niissä on huomioitu oleellimmat muokkaamattomuuden vaikutukset.

Muokkaamattomassa vaihtoehdossa kaikki toimenpiteet ja kassavirrat viivästyvät taimikon hitaamman alkukehityksen takia taimikon harvennuksesta alkaen neljällä vuodella. Lisäksi muokkaamattomuuden oletetaan alentavan hakkuukertymiä ja nostavan kertymän lehtipuuosuutta taimikon alkuvaiheen suuremman kuolleisuuden takia. Tämän seurauksena muokkaamattomassa kasvatusvaihtoehdossa korjuukertymä on ensiharvennuksessa 50 %, toisessa harvennuksessa 85 % ja uudistamis-hakkuussa 97,5 % laikkumätätetyn kasvatusvaihtoehdon vastaavan hakkuun kertymästä. Lehtipuuosuudet ovat laikkumätätetyssä vaihtoehdossa joka hakkuussa 10 % hakkuukertymästä, mutta

muokkaamattomassa vaihtoehdossa ensiharvennuksessa 40 %, toisessa harvennuksessa 30 % sekä uudistamishakkuussa 15 %.

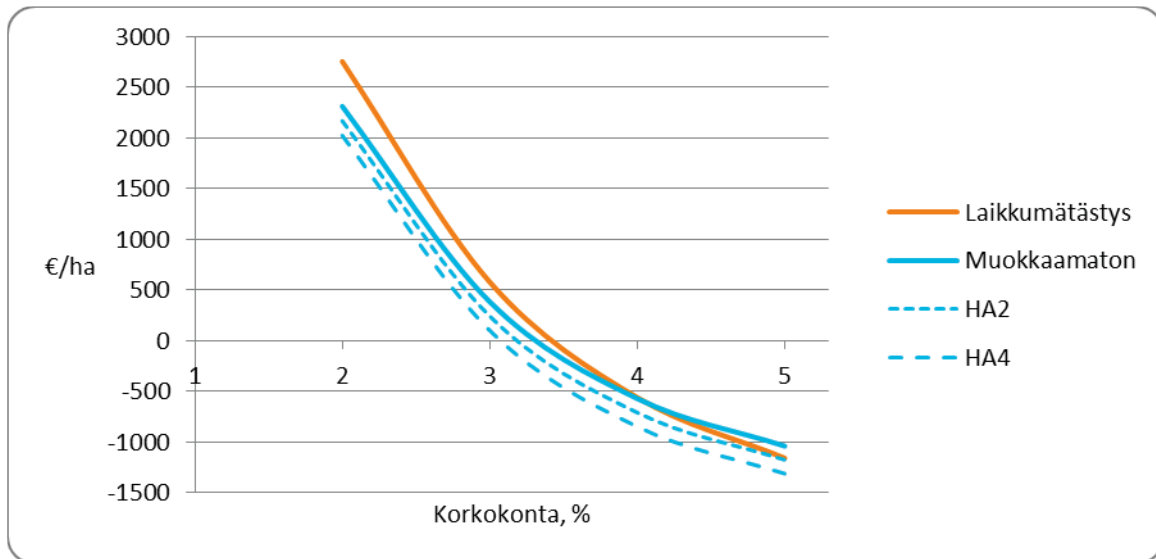
Laskelmassa käytetyt kantohinnat (2018) ja metsänhoidon kustannukset (2017) pohjautuvat Luonnonvarakeskuksen tilastotietokantaan. Kustannustasoa on tarkastettu vuodelle 2018 soveltuvaksi ja menetelmäkohtaisesti korjattu metsäpalveluja tarjoavien organisaatioiden hinnastoista. Taimimateriaali on molemmissa sama (0,22 €/taimi), mutta istutustyön kustannukset ovat muokkaamattomassa vaihtoehdossa 30 % korkeammat. Taimikonhoito on lähtökohtaisesti muokkaamattomassa vaihtoehdossa 20 % edullisempää. Taimikonhoidon viivästyminen nostaa kustannusta 7 % vuodessa. Heinäntorjuntakustannukset ovat arvioita. Heinäntorjunta on muokkaamattomassa vaihtoehdossa 1,5-kertainen (225 €) laikkumätästettyyn verrattuna (150 €). Heinäntorjuntakustannuksista laskettiin herkkyysanalyysit, joissa muokkaamattomassa vaihtoehdossa heinäntorjuntakustannus on kaksinkertainen (HA2, 300 €) tai nelinkertainen (HA4, 600 €) laikkumätästettyyn verrattuna. Herkkyysanalyysi tehtiin, koska heinäntorjuntakustannusten arviointi on epävarmaa, ja kustannuserot saattavat käytännössä olla huomattavasti suurempia kuin ensisijaisessa laskelmassa oletetaan.

**Taulukko 2.** Esimerkkilaskelma laikkumätästetyn ja muokkaamattoman istutuskohteen kiertoajan kassavirroista ja niiden nykyarvoista 3 % diskonttauskorolla.

	Laikkumätästys				Muokkaamaton			
	Metsikön ikä, v	Kertymä, m <sup>3</sup> /ha	Kassavirta, €/ha	Diskonttaus 3 %, €/ha	Metsikön ikä, v	Kertymä, m <sup>3</sup> /ha	Kassavirta, €/ha	Diskonttaus 3 %, €/ha
Maanmuokkaus	0		-450	-450	0		0	0
Istutus	0		-786	-786	0		-903	-903
Heinäntorjunta	2		-150	-141	2		-225	-212
Varhaisperkaus	5		-416	-359	5		-341	-294
Taimikonharvennus	10		-485	-361	14		-520	-344
Ensiharvennus	36	51	719	248	40	26	356	109
2. Harvennus	49	72	1996	469	53	61	1633	341
Uudistamishakkuu	68	318	14606	1957	72	310	14147	1684
Nettonykyarvo				576				381

Laskelman mukaan kaivinkonemätästys on kannattava investointi tuoreen kankaan istutuskohteella (Taulukko 3). Kolmen prosentin diskonttokorolla molempien kasvatusvaihtoehtojen nettonykyarvot ovat positiiviset, mätästetyn 576 €/ha ja muokkaamattoman 381 €/ha. Laikkumätästetty kasvatusvaihtoehto tuottaa 195 €/ha tai 51 % korkeamman nettonykyarvon kuin muokkaamaton vaihtoehto. Alle 4 % pääoman tuottovaatimuksella mätästetyn kasvatusvaihtoehdon nettonykyarvo on muokkaamatonta korkeampi (Kuva 25). Toisaalta mätästetty vaihtoehto on tappiollinen yli 3,4 % pääoman tuottovaatimuksella kuten myös muokkaamaton yli 3,3 % tuottovaatimuksella. Laskelman tuloksissa tulee huomioida, että laskelmaoletuksissa on useita epävarmuustekijöitä, jotka voivat vaikuttaa melko paljon lopputulokseen. Laskelman lopputulokset mukailevat hyvin 3 % korkokannalla Ahtikosken ja Hökän (2019) turvemaille laskemia tuloksia, joiden mukaan istutustaimikkoon tähtäävät metsänhoitotoimet kannattavat vielä mustikkaturvekankaalla.

Herkkyysanalyyseissä testattiin korkeampien heinäntorjuntakustannusten vaikutusta muokkaamattomassa kasvatusvaihtoehdossa. Tämä paransi laikkumätästykseen kannattavuutta. Molemmissa herkkyysanalyyseissä laikkumätästys on kannattava investointi kaikilla laskelman korkokannoilla 1–5 %.



**Kuva 25.** Korkokannan vaikutus laikkumätästetyn ja muokkaamattoman kasvatusvaihtoehdon nettonykyarvoon. Katkoviivoilla on esitetty herkkyysanalyysin vaihtoehtoiset laskelmat, joissa muokkaamattoman vaihtoehdon heinäntorjuntakustannus on ollut 1,5-kertaisen sijaan kaksinkertainen (HA2) tai nelinkertainen (HA4) laikkumätästettyyn verrattuna.

Huolimatta maanmuokkaukustannusten viimeaikaisesta noususta, maanmuokkaus on järkevä investointi viljelyn yhteydessä. Nykyisessä konekylvössä siementen levittäminen on yhdistetty niin tehokkaasti jatkuvatoimisiin maanmuokkajiin, että muokkausta ei kannatta jättää tekemättä. Erillinen käsinkylvö muokkaamattomaan maahan vaikuttaa jopa kalliimmalta vaihtoehdolta.

Myös maanmuokkaus tuoreen kankaan kuusen istutuskohteella oli muokkaamattomuutta taloudellisesti järkevämpi vaihtoehto. Erot eivät olleet kovin suuria, kolmen prosentin korkokannalla alle 200 €/ha. Vara kustannusten nousulle ei ole enää suuri. Olettaen, että muut tekijät säilyvät vakiona, niin siirtyminen heikompikasvuiselle kohteelle (karumpi, pohjoisempi tai korkeammalla sijaitseva) heikentää maanmuokkauksen ja istutuksen kannattavuusedellytyksiä (Ahtikoski ja Hökkä 2019). Toki kannattavuuteen voi vaikuttaa tehostamalla viljelyketjua, esimerkiksi muokkausmenetelmän- ja taimimateriaalin valinnalla. Toisaalta, jos muokkaamattomuus aiheuttaa herkkyysanalyysissä käsitellyt huomattavasti laikkumätästystä suuremmat heinäntorjuntakustannukset, on laikkumätästys kaivinkoneella selkeästi kannattava vaihtoehto metsätalouteen soveltuvilla korkokannoilla.

Tulokset herättävät huolen maanmuokkauksen, etenkin kaivinkonemätästysinvestoinnin kannattavuudesta. Menetelmä on istutustaimikon tuotoksen kannalta erittäin hyvä, mutta talousympäristön muutokset ovat heikentäneet sen tuottoa. Trendi täytyy saada kääntymään. Se edellyttää tuottavuutta maanmuokkaukseen tarvitaan, jotta hyväkasvuiset taimikot ja niiden puuntuotannon hyvä odote eivät olisi uhattuna.

## 8. Maan ravinnetalous ja hiilitase kivennäismailla

Aino Smolander ja Antti-Jussi Lindroos

### 8.1. Maanmuokkaus ja orgaanisen aineen hajotus

Maanmuokkauksella halutaan parantaa maan ravinnetaloutta ja taimien ravinteiden saantia. Tämä edellyttää, että metsämaan mikrobitoiminta vilkastuu ja sen seurauksena hiiltä ja ravinteita vapautuu mineralisaatiossa orgaanisesta aineesta. Maanmuokkausta edeltävässä uudistamishakkuussa syntyy paljon kuollutta orgaanista ainesta. Tämä vilkastuttaa monia metsämaan mikrobitoimintoja (esim. Smolander ym. 2000a). Myös maanmuokkaus vaikuttaa mikrobitoimintoihin ja siten hiilen ja ravinteiden mineralisaatioon, koska se muuttaa maan orgaanisen aineen jakautumista ja maan fysikaalisia ominaisuuksia, kuten lämpötilaa ja kosteutta. Muokkaus lisää paikallista vaihtelua, sillä osalle alueesta tulee suuri annos orgaanista ainetta ja osa alueesta jää ilman sitä. Maamikrobiston kannalta olot poikkeavat suuresti toisistaan esim. koskemattomassa maassa, paljastuneen kivennäismaan pintaosissa, humuskerroksessa tai kaksinkertaisessa humuskerroksessa kivennäismaakerroksen alla. Hakkuutähteen määrän vaihtelu uudistusalan eri kohdissa vaikuttaa myös maan orgaanisen aineksen määrän vaihteluun. Mättäissä valtaosa mikrobitoiminnoista keskittyy humuskerrokseen, koska siinä on paljon orgaanista ainetta hajotettavaksi syvempien kivennäismaakerrosten ollessa etupäässä juurieritteiden ja juurikarikkeen varassa (Smolander ym. 2000b). Liukoisen orgaanisen aineen huuhtoutumisen ansioista muokkaus vaikuttaa kuitenkin syvempienkin maakerrosten mikrobitoimintoihin. Kasvillisuus vaikuttaa suuresti maan mikrobitoimintaan ja osa muokkauksen vaikutuksien ilmenemisestä liittyy pintakasvillisuuden kehityksen nopeuteen ja puun taimien läsnäoloon.

Useissa tutkimuksissa on todettu, että havupuiden neulas- ja juurikarike sekä hakkuutähte hajoavat ja vapauttavat ravinteita nopeammin maan sisässä kuin maan pinnalla. Esimerkiksi auraspalteeseen kätkeytyneenä karikkeen painohäviö on ollut suurempi kuin muokkaamattoman maan pinnalla (Johansson 1994, Lundmark-Thelin ja Johansson 1997, Mjöfors ym. 2015). Hajoamista edistää myös karikkeen ja hakkuutähteen rikkoutuminen muokkauskoneen vaikutuksesta.

Maanmuokkaus edistää mättään sisälle jäävän karikkeen ja hakkuutähteen sisältämän orgaanisen aineen hajoamista, mutta ei aina vaikuta samoin mättäiden sisään jäävän humuskerroksen orgaanisen hiilen hajoamiseen. Humuskerroksen 'vanhaa' hiiltä voidaan mineralisoida ensimmäisinä vuosina samalla nopeudella tai jopa nopeammin muokkaamattoman maan humuskerroksessa kuin laikkumättään kaksinkertaisessa humuskerroksessa (Smolander ym. 2000b). Kääntömättään humuskerroksen alhainen hiilen mineralisaationopeus suhteessa mikrobibiomassan sisältämään hiileen viittaa samaan ilmiöön (Smolander ja Heiskanen 2007). Ilmiön selittänee se, että muokkaamattomassa maassa kasvavien heinien ja ruohojen karike ja juurieritys kiihdyttävät humuskerroksen hiilen hajotusta, kun taas mättään sisälle joutuneessa vanhassa humuskerroksessa vastaavaa ei tapahdu ensimmäisinä vuosina muokkauksen jälkeen. Päätelmää vahvistaa se, että puun taimet kiihdyttävät hiilen mineralisaatiota orgaanisesta aineesta tarjoamalla juurieritteinä mikrobeille helposti hajotettavan hiilen lähteen (Smolander ym. 2000b).

### 8.2. Pitkällä aikajänteellä maanmuokkaus lisää metsäekosysteemin hiilivarastoa

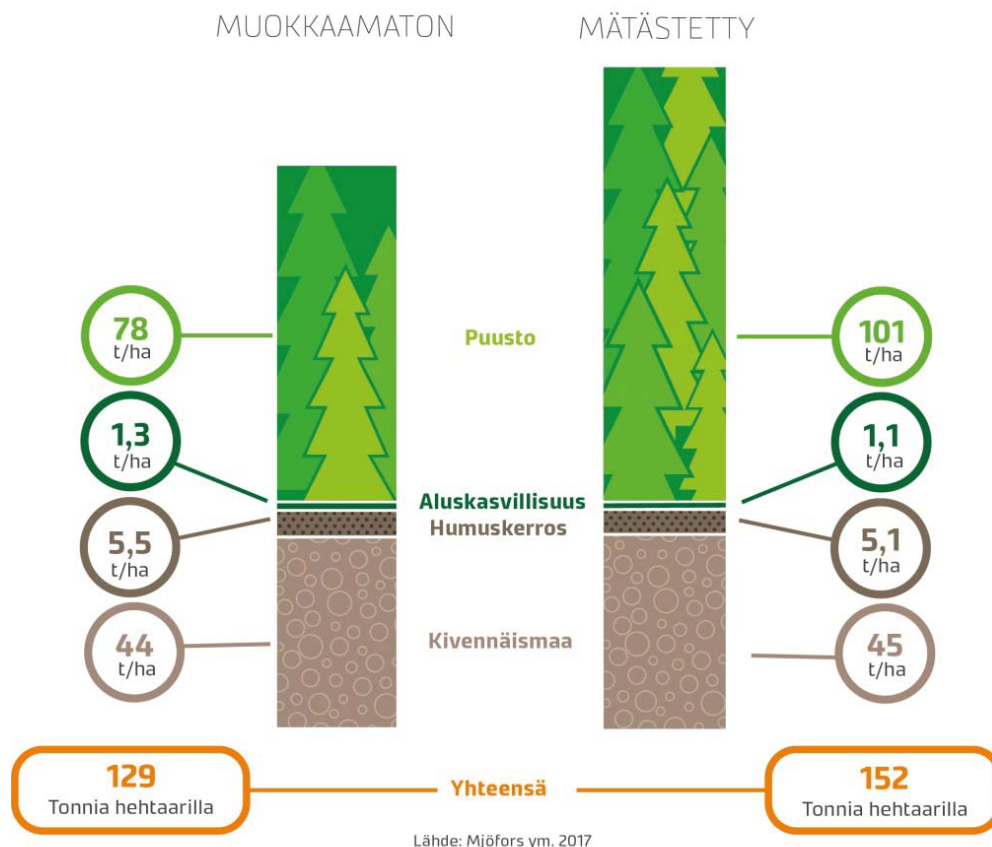
Koko maaprofiili eri kerroksineen vaikuttaa metsämaan hiilidioksidivuohon. Eräällä tutkimusalalla avohakkuu vähensi metsämaan hiilivarastoa ainakin 10 vuodeksi (Piirainen ym. 2015). Virolaisessa hiilitasetutkimuksessa arvioitiin hyvin kasvavan männyn taimikon olevan hiilen lähde lyhyen aikaa avohakkuun jälkeen mutta muuttuvan jo alle 10 vuodessa hiilen nieluksi (Uri ym. 2019). Tutkimustu-

lokset maanmuokkauksen vaikutuksista hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) päästöihin ovat vaihtelevia. Hiilidioksidipäästöt ovat olleet joillakin uudistusaloilla suuremmat äestyspalteessa ja mättäessä kuin muokkaamattomassa maassa 1–2 vuotta maanmuokkauksen jälkeen, mutta joillakin kohteilla tilanne on ollut päinvastainen (Pumpanen ym. 2004, Strömgren ja Mjöfors 2012, Mjöfors ym. 2015, Strömgren ym. 2017). Alentuneita hiilidioksidipäästöjä selittää esimerkiksi huono kosteus tilanne mättäessä tai äestyspalteessa kuivana kesänä. Paljastuneesta kivennäismaasta hiilidioksidipäästöt ovat olleet aina alhaisia. Alueen koko pinta-ala huomioiden äestys ei vaikuta maan hiilidioksidipäästöihin ensimmäisenä vuonna, mutta lisää niitä 10 % toisena vuonna (Strömgren ja Mjöfors 2012). Laajassa ruotsalais-tutkimuksessa, jossa seurattiin maan hiilidioksidipäästöjä aurauksen ja mätästyksen jälkeen 14 uudistusosalalla, muokkaus vähensi lievästi päästöjä kahtena ensimmäisenä vuotena (Strömgren ym. 2017). Kaiken kaikkiaan muokkauksen vaikutus metsämaan hiilidioksidipäästöihin lienee lievä ja sitä säätelevät maan kosteusolot ja tuoreen, helposti hajotettavan kasviaineksen määrä.

Maanmuokkaus saattaa muuttaa edellytyksiä sekä metaanin (CH<sub>4</sub>) tuottoon että sen kulutukseen, jotka molemmat voivat tapahtua samassa maaprofiilissa. Se, toimiiko metsämaa tämän voimakkaan kasvihuonekaasun nieluna vai päästölähteenä, riippuu ennen muuta pohjaveden pinnan korkeudesta, sillä sekä metaania kuluttavien että tuottavien mikrobien toimintaa säätelee maan happitilanne. Metaanin päästöt ovat voimakkaimmillaan hapettomissa, märissä oloissa, joissa metaania tuottavien bakteerien toiminta ylittää metaania kuluttavien bakteerien toiminnan. Yleisesti ottaen moreenimaamme ovat metaanin nieluja (Martikainen ym. 2004). Viljavan paikan kuusikon maa toimii avohakkuun jälkeen enimmäkseen metaanin nieluna, eikä maanmuokkaus siihen vaikuta (Saari ym. 2004). Strömgren ym. (2016) ovat osoittaneet Ruotsissa, että kahtena vuotena mätästyksen (kaksi kohdetta) ja aurauksen (yksi kohde) jälkeen metsämaa on enimmäkseen metaanin nielu. Päästöjä syntyy vain metsäkoneiden pyörien jäljistä ja muista isommista veden valtaamista painaumista. Kun koko pinta-ala huomioidaan, niin metsämaa on joko metaanin nielu tai lähde kohteesta riippuen, mutta maanmuokkaus ei vaikuta päästöihin (Strömgren ym. 2016).

Maanmuokkauksen vaikutuksia metsämaan hiilivarastoihin on tarkasteltu myös pidemmällä aikavälillä. Useat tutkimukset, joissa on verrattu eri tavoin muokattuja aloja vastaavaan muokkaamattomaan tai vain käsin laikutettuun alaan, viittaavat siihen, ettei koneellinen maanmuokkaus vähennä koko metsäekosysteemin hiilivarastoa, vaan se voi jopa lisätä sitä. Ruotsalaistutkimuksessa kymmenen vuoden kuluttua syväaurauksesta maan ylimmän 50 cm:n ja koko metsäekosysteemin hiilivarastot eivät poikenneet merkitsevästi käsin laikutuksesta (Nordborg ym. 2006). Toisessa tutkimuksessa syväauraus oli vähentänyt lievästi maan ylimmän 70 cm:n hiilivarastoa verrattuna käsin tehtyyn laikutukseen 22–24 vuoden kuluttua muokkauksesta, mutta metsäekosysteemien kokonaishiilivarastoissa ei ollut eroa puuston paremman kasvun ansiosta (Egnell ym. 2015). Verrattaessa maan hiilivarastoja 25 vuoden kuluttua äestyksestä, mätästyksestä ja syväaurauksesta kolmessa havupuumetsikössä Ruotsissa (Mjöfors ym. 2017), kaikki muokkaustavat lisäsivät puuston hiilivarastoa, mutta eivät vaikuttaneet maan hiilivarastoon ainakaan maaprofiilin ylimmässä 30 cm:ssä. Keskimäärin koko metsäekosysteemin hiilivarasto oli auratulla 157, mätästetyllä 152, äestetyllä 138 ja muokkaamattomalla 129 tonnia hehtaarilla. Kaiken kaikkiaan tutkimustuloksista voidaan päätyä samaan johtopäätökseen kuin Mjöfors ym. (2017), joiden mukaan pitemmällä aikajaksolla mahdolliset alkuaikojen hiilihäviöt maasta kompensoituvat muokkauksen aikaansaamalla puuston hiilivaraston kasvulla (Kuva 26). Mjöfors (2015) päätteli, että pitkällä tähtäyksellä maanmuokkauksen aikaansaama puuston kasvun edistäminen turvaa metsäekosysteemin ja myös maaperän hiilivaraston. Kuten Egnell ym. (2015) korostivat, pitää metsänkäsittelytoimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa ottaa koko ekosysteemi huomioon eikä vain yksittäisiä komponentteja.

## Metsäekosysteemin hiilivarasto 25 vuoden kuluttua uudistamisesta



**Kuva 26.** Hiilen sitoutuminen kivennäismaahan, humuskerrokseen, aluskasvillisuuteen ja puustoon 25 vuoden kuluttua uudistamisesta, kun havupuiden taimet on istutettu muokattuun (laikkumätästys) tai muokkaamattomaan maahan. Kivennäismaan hiilivarasto on mitattu 30 cm:n kerroksesta (Mjölfors ym. 2017). Kuva: MAK Media Oy.

### 8.3. Maanmuokkauksen vaikutus typen kiertoon

Kangasmetsissä käyttökelpoisen typen puute rajoittaa kasvua (Högberg ym. 2017). Metsämaan typivarasto on suuri, mutta vain alle pari prosenttia siitä on metsäpuille käyttökelpoisessa muodossa, ammonium-, nitraatti- tai aminohappotyypinä. Typpi kiertää yleensä metsän sisällä eli mikrobitoiminnan orgaanisesta aineesta mineralisaatiossa vapauttama typpi otetaan heti käyttöön. Tietyissä tilanteissa, esimerkiksi avohakkuun yhteydessä, tämä suljettu kierto voi väliaikaisesti avautua ja typpi voi karata huuhtoutumalla vesistöihin tai kaasumaisina yhdisteinä ilmaan.

Uudistamishakkuun lisäksi maanmuokkaus muuttaa maan tilannetta ja eri typpimuotojen määrää esimerkiksi maan ilmavuuden muuttumisen ja runsaasti typpeä pidättävän mykorrhizaverkoston rikoutumisen kautta. Typen mineralisaatio keskittyy humuskerrokseen, koska valtaosa maan tuestä on orgaanisessa aineessa. Typen nettomineralisaationopeus voi olla samalla tasolla laikkumättään ja muokkaamattoman maan humuskerroksessa, kun se lasketaan orgaanisen aineen määrää kohti eli helposti mineralisoitavissa olevan typen osuus voi olla samaa suuruusluokkaa molemmissa (Smolander ym. 2000b). Humuskerrosten väliin jäävä tuore orgaaninen aine ja humuskerroksen kaksinker- taistuminen kuitenkin parantavat puun taimen typpitilannetta. Vaikka viiden vuoden kuluttua mineraalityypen määrä mättäessä on suurempi kuin muokkaamattomassa maassa, koko muokatun alueen epäorgaanisen typen määrä ei poikkea muokkaamattomasta alasta (Nohrstedt 2000).

Nitrifikaatio eli ammoniumtyypen muuttuminen nitraattitypeksi on avaintoiminto typen häviöiden kannalta ja se on yleensä hyvin vähäistä metsämaissamme. Ensimmäisinä vuosina uudistamishakkuun jälkeen on havaittu vajoveden kohonneita nitraattityypen pitoisuuksia (ks. Piirainen tässä julkaisussa), jotka selittyvät nitrifikaatiolla (Smolander ym. 2000a). Autotrofisille nitrifikaatiobakteereille tarjoutuu kilpailuetu, kun kasvillisuuden typenotto on vähäistä, ja samaan aikaan heterotrofisten mikrobien typenottoa rajoittaa puute käyttökelpoisesta hiilestä (Smolander ym. 2000a, Smolander ja Heiskanen 2007). Heti muokkauksen jälkeen pintakasvillisuuden typenotolla on suuri merkitys eroihin muokatun ja muokkaamattoman maan välillä. Muokattua maata runsaampi kasvillisuus muokkaamattomassa maassa vähentää nitraattityypen huuhtoutumista. Kun pintakasvillisuus (tai puun taimi) vähitellen kehittyy mättääseen, laskevat maaveden typpipitoisuudet, vaikka mineralisaatio ja nitrifikaatio jatkuvat samalla tasolla (Smolander ym. 2000b).

Hakkuutähteen merkitys muokatun metsämaan typpitilanteessa on kahtalainen. Aluksi hajottajamikrobit pidättävät ympäröivästä maasta typpeä (Palviainen ym. 2004, Mjölfors ym. 2015); varsinkin puuaineksen hiili-typpisuhde on niin korkea, että sitä hajottaakseen maamikrobit pidättävät typpeä ympäröivästä maasta estäen samalla typpihäviöitä. Toisaalta hakkuutähteen tyyppi vähitellen vapautuu ympäröivään maahan. Neulasista tämä tapahtuu jo muutamissa vuosissa, isommasta puuaineksestä vuosikymmenissä.

Muuttamalla nitraattityypen saatavuutta ja happitilannetta maanmuokkaus vaikuttaa voimakkaan kasvihuonekaasun, dityppioksidin (typpioksiduuli,  $N_2O$ ) päästöihin. Dityppioksidia tuotetaan denitrifikaatiossa ja sitä voi syntyä myös nitrifikaation sivutuotteena. Denitrifikaatiota suosii hapettomat olot, nitrifikaatiota hapelliset olot. Denitrifikaatiossa dityppioksidi on välituote, jota muutetaan edelleen harmittomaksi ilmakehän molekulaariseksi typeksi ( $N_2$ ). Eryityisesti happamissa oloissa tämä estyy, jolloin suurin osa muuntuneesta tyypestä karkaa dityppioksidina. Ruotsissa viljavien maiden mätästys ei vaikuttanut kahtena ensimmäisenä vuonna dityppioksidin kokonaispäästöihin (Strömngren ym. 2016). Kun verrattiin muokkaamatonta maata, mätästä ja paljastettua kivennäismaata, näiden kohtien dityppioksidipäästöjen suuruuserot vaihtelivat pienipiirteisesti. Kasvillisuuden kehitys ja typenotto vähentävät myös näitä typen kaasumaisia häviöitä. Kaiken kaikkiaan kaasumaiset typpipäästöt ovat kivennäismailla pieniä.

Maanmuokkauksen vaikutusta metsäekosysteemin typpivarastoon on tutkittu hiilivarastoa vähemmän. Maan ja puuston yhteisvarastoon syväaurauksella ei ole merkittävää vaikutusta (Nordborg ym. 2006, Egnell ym. 2015). Esimerkiksi syväauraus pienentää maan typpivarastoa 13–14 %, mutta kasvattaa puuston typpivarastoa 22–44 % verrattuna käsin laikutukseen (Egnell ym. 2015). Muissa muokkausmenetelmissä maata käsitellään vähemmän ja kasvuvaiikutukset esimerkiksi mätästyksessä vastaavat auruusta. Todennäköisesti maanmuokkauksen vaikutus metsäekosysteemin typpivarastoon on samankaltainen kuin sen hiilivarastoonkin.

## 8.4. Rapautuminen on tärkeä osa tasapainoista ravinnetaloutta

Mineraalien rapautuminen metsämaan kivennäismaan pintaosissa on välttämätöntä emäsravinteiden, kalsiumin (Ca), magnesiumin (Mg) ja kaliumin (K), sekä useiden muiden ravinnealkuaineiden saatavuuden kannalta. Ne ovat maaperän kemiallisen puskurijärjestelmän avainalkuaineita, ja ilman näiden aineiden riittäviä puskurivarastoja metsämaan kemiallinen tila muuttuu kaikkien tärkeiden ravinteiden kierron kannalta epäedulliseen suuntaan. Puskurijärjestelmä määrittelee maan happamuustilan, joka puolestaan on tärkeä emäsravinteiden ja typen kierrossa sekä orgaanisen aineen kertymisessä ja hajoamisessa. Vaikka mineraalien rapautumisen on jo pitkään tiedetty olevan metsämaan ravinteisuuden kannalta tärkeimpiä prosesseja, sen huomioiminen on osoittautunut vaikeaksi ja se on usein jätetty ilman yksityiskohtaista tarkastelua (Carey ym. 2005). Viime vuosina rapautumisessa vapautuvien ainevirtojen määrittäminen on kehittynyt, ja ne voidaan aiempaa paremmin ottaa



huomioon metsien ravinnetilaa koskevilla tutkimuksilla (Starr ym. 1998, 2014, Olsson ja Melkerud 2000, Olsson ym. 1993, Klaminder ym. 2011, Akselsson ym. 2006). Maanmuokkaus nopeuttaa rapautumista ja vaikuttaa sitä kautta emäsravinteiden taseisiin, koska maanmuokkaus paljastaa maan pintaan helposti rapautuvia maakerroksia.

Varttuneessa männikössä Itä-Suomessa (Starr ym. 2014) rapautumisessa maahan vapautuvat kalsiumin (n. 2 kg/ha/v), magnesiumin (n. 0,60 kg/ha/v) ja kaliumin (1,2 kg/ha/v) virrat ovat suurempia kuin vastaavat ainevirrat laskeumassa (Ca 1,0, Mg 0,4, K 0,6 kg/ha/v, Lindroos ym. 2007) tai huuhtoumassa. Rapautumiseen liittyvät ainevirrat ovat siten erittäin tärkeitä metsän kasvun kannalta. Häiriintymättömässä metsämaassa kalsiumin, magnesiumin ja kaliumin vapautuminen rapautumisessa liittyy podsolimaannoksen kehittymiseen, missä kivennäismaan pintaosa (huuhtoutumiskerros eli E-horisontti) rapautuu voimakkaammin ja vapauttaa alkuaineita. Syvemmällä metsämaassa on vähemmän rapautunutta mineraaliainesta (rikastumiskerros eli B-horisontti sekä sitä syvemmillä sijaitsevat kerrokset). Mikäli syvemmillä olevat mineraalit joutuvat rapautumisprosessien kohteeksi, ne vapauttavat alkuaineita aluksi erittäin voimakkaasti, mutta rapautumisnopeus hidastuu nopeasti ajan kuluessa (Starr ja Lindroos 2006, Lindroos ym. 2003).

## 8.5. Maanmuokkaus lisää rapautumista ja varmistaa puuston ravinteiden saatavuutta

Maanmuokkauksen vaikutuksia Suomen yleisimmän maannostyyppin, podsolimaannoksen, ominaisuuksiin on tutkittu auraskohteilla (Lindroos ym. 2016a, Tanskanen ym. 2004, Tanskanen ja Ilvesniemi 2004, Tanskanen 2006). Podsolimaannoksen eri maannoshorisonttien sisällä ja välillä vallitsee luontaisesti kemiallinen tasapainotila, mikä vaikuttaa voimakkaasti maaperässä esiintyvien emäsravinteiden määriin ja vapautumiseen kasvillisuuden käyttöön. Maanmuokkaus muuttaa metsämaan maannoksen rakennetta, ja siirtää maannoskerroksia uuteen järjestykseen. Muokattu maannoskerros on käsittelyn jälkeen uudessa kemiallisessa ympäristössä, jolloin maaperä alkaa hakeutua kohti uutta tasapainotilaa. Tämän johdosta maaperän mineraaleista ja maahiukkasten pintojen kemiallisilta vaihtopaikoilta alkaa vapautua aiempaa voimakkaammin alkuaineita ja ravinteita. Ravinteiden ja muiden alkuaineiden vapautuminen mineraalimaasta muokkauksen seurauksena riippuu siitä, kuinka syväälle mineraalimaahan muokkaus ulottuu. Aiemmin yleisesti käytetyssä aurauksessa podsolimaannoksen rikastumiskerros paljastui maan pintaan palteiden ja vakojen kohdilla (Tanskanen 2006). Rikastumiskerrokseen on kertynyt jääkauden jälkeisen maannoskehityksen aikana runsaasti rautaa, alumiinia ja orgaanisia yhdisteitä (Lindroos ym. 2016a).

Maaperän geokemiallista tilaa on selvitetty 20–30 vuoden kuluttua uudistamishakkuusta ja siihen liittyneestä aurauksesta (Lindroos ym. 2016a, Tanskanen ym. 2004, Tanskanen ja Ilvesniemi 2004). Maan pintaan paljastuneissa kivennäismaan kerroksissa tapahtui jo tässä ajassa huomattavia muutoksia; mineraalien rapautuminen lisääntyi voimakkaasti muokkaamattomaan alueeseen verrattuna vapauttaen kalsiumia, magnesiumia, kaliumia sekä alumiinia ja rautaa. Palteiden kohdalla auraukseen liittynyt maan mekaaninen sekoittuminen oli edelleen tärkeä maan geokemiallista tilaa selittävä tekijä (Lindroos ym. 2016a).

Suomessa rannikolla paljastuu merestä jatkuvasti uutta maata, ja näiden uusien vielä rapautumattomien maakerrosten kalsiumin ja magnesiumin rapautumisnopeus vuodessa on yli viisikertainen Suomessa vallitseviin, vanhempiin ja muokkaamattomiin metsämaihin verrattuna (Starr ja Lindroos 2006). Aivan samoin aurauksen seurauksena paljastuvissa maakerroksissa rapautumisessa vapautunut kalsiumin määrä on vuositasolla useita kertaluokkia suurempi kuin muokkaamattomassa metsämaassa (Lindroos ym. 2016a, Starr ym. 2014). Muokkaus edistää näin ollen rapautumiseen liittyvää ravinnekiertoa erittäin voimakkaasti. Rapautumisen tehostuminen riippuu ratkaisevasti muokkaussy-

vydestä. Mikäli maan pintaan paljastuu ainoastaan humuskerroksen alainen jo rapautunut huuhtoutumiskerros, rapautumisen lisääntyminen jää vähäiseksi. Sen sijaan maaperän syvempien osien paljastuminen lisää rapautumisnopeutta. Rapautumiseen liittyvät tutkimukset on tehty aurasaloilla. Auraukseen verrattuna nykyisissä maanmuokkausmenetelmissä ei juurikaan kosketa syvempiin maakerroksiin. Siten niiden vaikutukset rapautumiseen lienevät aurausta vähäisempiä.

Ravinteiden vapautumisen kiihtyminen muokkauksen jälkeen on positiivinen ilmiö, koska emäsravinteita poistuu puuston ja bioenergian korjuun yhteydessä hakkuutähteissä sekä huuhtoumalla hakkuutähdekasoista (Lindroos ym. 2016b). Ilvesniemi ym. (2012) arvioivat, että uudistamishakkuuseen liittyvä emäsravinteiden menetys korvaantuu muokkaamattomassa maassa 70 vuodessa rapautumisen ja laskeuman avulla. Muokkauksen rapautumista kiihdyttävän vaikutuksen ansioista menetetyt emäsravinteet korvaantuvat huomattavasti nopeammin. Mineraaleihin sitoutuneet emäsravinne-määrät ovat erittäin suuria kasveille käyttökelpoiseen muotoon rapautumisessa vapautuviin määriin verrattuna. Rapautumisen kiihtyminen muokkauksen yhteydessä ei siten aiheuta maaperän köyhtymistä ravinteista.

Muokatun maan uusista pintakerroksista vapautuu runsaasti alumiinia maaveteen. Maaveden alumiinipitoisuuksien ei kuitenkaan ole todettu olleen kasvillisuuden kannalta haitallisella tasolla (Tanskanen ym. 2004). Ravinnekierroksen tehostuminen lisää ravinteita puuston ja muun kasvillisuuden käyttöön. Mineraaleissa ja maarakeiden pinnoilla olevien ravinne- ja alkuainetarastojen liikkuvuuden lisääntyminen voi vaikuttaa myös valumavesien laatuun (ks. Piirainen tässä julkaisussa).

## 9. Maanmuokkauksen vaikutukset vesistöihin

Sirpa Piirainen

### 9.1. Miksi muokkaus lisää vesistökuormitusriskiä?

Maanmuokkauksella parannetaan taimien olosuhteita, mutta samalla uudistamisalan vesistökuormitusriski lisääntyy. Tämä johtuu pääosin kolmesta tekijästä. Ensinnäkin kuollutta orgaanista ainesta on paljon, se on epätasaisesti jakautunut ja kasautunut sekä osin hautautunut kivennäismaahan ja siitä vapautuu hajotustoiminnan tuloksena ravinteita enemmän kuin kasvillisuus käyttää. Toiseksi, ravinteita ja vettä ottava pintakasvillisuus on myös epätasaisesti jakautunut ja sitä jää vain koskemattomille pinnoille. Kolmanneksi, maanmuokkauksessa paljastetaan kivennäismaan pintaa, joka on altis sadeveden aiheuttamalle kiintoaineen huuhtoutumiselle. Uudistamishakkuu lisää hiilen ja ravinteiden huuhtoutumista ilman maanmuokkaustakin (Piirainen 2002, Palviainen ym. 2014) ja maanmuokkaus voimistaa sitä (Kubin 1995, Ahtiainen ja Huttunen 1999, Piirainen ym. 2007, 2009). Myös eroosio ja kiintoaineen huuhtoutuminen ajourista tai paljailta kivennäismaapinnoilta kuten vaoista voi lisääntyä (Ahtiainen ja Huttunen 1999, Palviainen ym. 2014).

### 9.2. Kivennäismaalla muokkausalueen eri pinnat käyttäytyvät eri tavoin

Muokkauksessa muodostetut palteet ja mättäät ovat orgaanisen aineen kasaumia (humuskerros ja hakkuutähteet), joissa hajotustoiminta vapauttaa ravinteita enemmän kuin siihen istutettu tai kylvetty taimi kykenee sitomaan (Piirainen ym. 2015). Kasaumissa hajotustoiminta voi olla myös nopeampaa kuin muokkaamattomassa maassa (Lundmark-Thelin ja Johansson 1997, Mjöfors ym. 2015), ja varsinkin hautautuminen ja pilkkoutuminen voivat edesauttaa hajotustoimintaa (ks kappale 7). Palteiden ja mättäiden alta 20 cm syvyydestä kivennäismaan pinnasta mitattuna epäorgaanisen typen ja fosforin huuhtoumat ovat kolmen vuoden ja orgaanisen typen ja hiilen ainakin viiden vuoden ajan 70–80 % suurempia kuin muokkaamattomasta maasta (Piirainen ym. 2007). Myös kalsiumin, magnesiumin, kaliumin, alumiinin ja raudan huuhtoumat ovat suurempia (40–120 %) palteiden alta verrattuna huuhtoumaan muokkaamattoman pinnan alta (Piirainen ym. 2009). Vakojen ja muiden paljaiden kivennäismaapintojen alta huuhtoumat ovat pienempiä (Piirainen ym. 2007, 2009), koska niistä helposti hajoava ja ravinteita vapauttava orgaaninen aine on siirtynyt palteisiin. Vastaavanlaisia eroja aineiden pitoisuuksissa eri muokkauspinnojen alta on havaittu myös ruotsalaisissa tutkimuksissa (Ring ym. 2013).

Huuhtoumämäärien kasvuun vaikuttaa pitoisuuksien nousun lisäksi suotautuvan vesimäärän kasvu. Varsinkin kevätvalunta kasvaa, koska aukealla lumi- ja sulamisvesien määrä on metsää suurempi (Ide ym. 2013). Tutkimusten mukaan vuotuinen valunta lisääntyy uudistamishakkuun ja puuston haihdunnan vähenemisen seurauksena 5–10 mm hakattua 10 m<sup>3</sup> ainespuuta kohti (Seuna 1990). Valunnan muutokset jäävät suhteellisen lyhytaikaisiksi (alle 10 vuotta), kun hakkuualueelle kehittyvän kasvillisuuden haihdunta lisääntyy (Ide ym. 2013). Kokonaisuudessaan muokkausalueella typen ja hiilen huuhtoumat ovat 20 cm kivennäismaakerroksen alla 33–45 % suurempia kuin muokkaamattomalla maalla viiden vuoden mittausjaksolla muokkauksen jälkeen (Piirainen ym. 2007). Vastaavasti kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin huuhtoumat ovat 12–22 % suurempia ja alumiinin ja raudan 47–112 % suurempia (Piirainen ym. 2009). Fosforin huuhtoumämääriin muokkaus ei vaikuta, koska orgaanisesta aineksestä vapautunut fosfori pidättyy tehokkaasti kivennäismaahan (Piirainen ym. 2007). Vaikka suhteelliset muutokset ovat olleet merkittäviä, niin ainemäärinä huuhtoumat ovat olleet pieniä, jos niitä vertaa varastoihin, joita uudistamisalalle jää hakkuutähteinä ja muuna kuolleena or-

gaanisena aineena. Esimerkiksi typen ja hiilen huuhtoumat 20 cm syvyyteen olivat <1 % hakkuutähdevarastojen määrästä seitsemän vuoden aikana uudistamishakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen (Piirainen ym. 2007).

### 9.3. Pintakasvillisuus pidättää tehokkaasti ravinteita

Ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutumisen näkökulmasta maanmuokkaus pitäisi tehdä mahdollisimman pienialaisella maanpinnan rikkomisella, jotta mahdollisimman paljon pintakasvillisuutta säilyisi elossa sitomassa hakkuutähteistä ja humuskerroksesta vapautuvia ravinteita (Piirainen ym. 2007, Rappe George ym. 2017). Tutkimuksissa on havaittu, että eri maanmuokkausmenetelmien välillä on eroja muun muassa maavedestä mitatuissa typpipitoisuuksissa, mutta erojen syyt eivät ole selkeitä (Smolander ja Heiskanen 2007).

Uudistamishakkuu itsessään lisää ravinteiden huuhtoutumisriskiä, koska valo-, kosteus ja lämpötilamuutokset vähentävät pintakasvillisuuden biomassaa ja siihen sitoutuneiden ravinteiden määrää puoleen (43 %:iin) alkuperäisestä määrästä (Palviainen 2005). Pintakasvillisuuden toipuminen ja osittainen korvautuminen uusilla pioneerilajeilla kuten metsälauhalla, maitohorsmalla tai vadelmalla, on muokkaamattomalla pinnalla nopeaa ja kasvillisuuden biomassaa voi jo viidentenä vuotena hakkuun jälkeen ylittää alkuperäisen biomassan (Palviainen ym. 2005). Maanmuokkaus pitäisikin tehdä pian uudistamishakkuun jälkeen, jotta uutta jo kehittynyttä pintakasvillisuutta ei tuhottaisi. Muokkauksipinoilla uuden pintakasvillisuuden muodostuminen on hitaampaa ja varsinkin paljas kivennäismaa vihertyy hitaasti (Palviainen ym. 2007). Metsänuudistumisen ja taimien menestymisen kannalta rehevä pintakasvillisuus ja luontaisesti syntyvä nopeakasvuinen lehtipuusto ovat haitta, mutta vapautuvien ravinteiden pidättäjänä ja vesistöhuuhtoumien vähentäjänä niiden merkitys on suuri (Palviainen ym., 2007, Piirainen ym. 2015). Myös paksuimpien oksien ja juurten alkuvaiheen hajotus sitoo typpeä (Palviainen ym. 2004). Kantojen hajotus voi sitoa ympäristöstä typpeä jopa vuosikymmenien ajaksi (Palviainen ym. 2010). Taimien ravinteidenotolla on myös merkitystä huuhtoumien vähentäjänä. Karuilla kasvupaikoilla, joilla pintakasvillisuus tai lehtipuusto eivät runsastu hakkuun jälkeen, onnistunut maanmuokkaus lisää taimien menestymistä ja niihin sitoutuvien ravinteiden määriä, mikä vähentää ravinteiden huuhtoutumisriskiä (Ring ym. 2018).

### 9.4. Maaperä pidättää ainehuuhtoumia kivennäismailla

Podsolimaannos on tehokas fysikaaliskemiallinen suodatin ja jos uudistamisalueelta kaikki sadevesi suotautuisi pohjavedeksi ja sieltä purkautuisi vesistöihin ravinne-, hiili- ja kiintoainehuuhtoumat olisivat hyvin pieniä. Uudistamisalueiden pohjavedessä on tutkimuksissa mitattu kohonneina vain nitraattityppi- ja kloridipitoisuuksia (Kubin 1998, Rusanen ym. 2004, Mannerkoski ym. 2005), koska näiden aineiden kemiallinen pidättyminen maaperään on heikko. Sen sijaan liukoinen orgaaninen hiili, orgaaninen typpi, ammoniumtyppi, fosfori sekä rauta- ja alumiiniyhdisteet pidättyvät maaperään tehokkaasti. Esimerkiksi hakkuutähdekasojen alta maaperään pidättyneenä on mitattu suurempia hiili- ja typpipitoisuuksia kuin kohdista, jossa niitä ei ole (Lindroos ym. 2018).

### 9.5. Kivennäismaiden uudistamisaloilta tulevan vesistökuormituksen suuruus

Maanmuokkauksen aiheuttaman kuormituslisän erottaminen uudistamishakkuun aiheuttamasta kuormituksesta vesistöön on hankalaa, koska toimenpiteet tehdään ajallisesti hyvin lähekkäin eikä maanmuokkauksista yleensä tehdä ilman jonkinasteisia hakkuita. Kuormitusmuutoksiin vaikuttavat sekä muutokset alueen hydrologiassa että ravinnekiertoissa. Hydrologiset muutokset kuten maaperän vettyminen ovat todennäköisesti pääsyy ruotsalaisissa tutkimuksissa havaittuihin suuriin orgaanisen

hiilen kuormituksen kasvuihin (Laudon et al. 2009, Schelker et al. 2012). Näissä tutkimuksissa vuosittainen kuormitus (n. 100 kg/ha) on kasvanut hakkuun jälkeen 183 kg/ha ja maanmuokkauksen jälkeen 280 kg/ha. Typen vuosihuuhtouma nk. luonnonhuuhtouma metsäalueilta vesistöihin on 0,9–1,5 kg/ha (Finér ym. 2010) ja uudistamishakkuu ja maanmuokkaus yhdessä lisäävät keskimääräistä typpi-kuormitusta vesistöihin 1,3–4,9 kg hakkuuhehtaarilta ja vaikutus kestää 3–14 vuoden ajan (Palviainen ym. 2014). Tutkimuksissa, joissa on pyritty erottamaan maanmuokkauksen vaikutus avohakkuun vaikutuksesta, tulokseksi on saatu, ettei muokkaus lisää typpi-kuormitusta tai se lisää vuosittaista kuormitusta 0,2–0,7 kg toimenpidehehtaaria kohden (Ahtiainen ja Huttunen 1999, Palviainen ym. 2014). Vuosittainen fosforin luonnonhuuhtouma on 0,04–0,05 kg/ha (Finér ym. 2010) ja keskimääräinen vuosittainen fosforikuormituksen lisäys hakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen on 0,02–0,7 kg toimenpidehehtaaria kohden ja se kestää 3–14 vuoden ajan (Palviainen ym. 2014). Muokkauksen aiheuttamaksi fosforikuormitukseksi on tutkimuksissa saatu 0–0,4 kg/ha (Ahtiainen ja Huttunen 1999, Palviainen ym. 2014). Kiintoaineen huuhtoumiin muokkauksella voi olla hakkuuta suurempi merkitys, jos paljastunut kivennäismaa syöpyy veden virtauksen takia (Palviainen ym. 2014). Kuten edellä käy ilmi mitatuissa hakkuiden ja maanmuokkauksen aiheuttamissa kuormitusmäärissä on määrellistä ja ajallista vaihtelua. Käytännössä vain harvoin uudistetaan samanaikaisesti vesistön koko valuma-alue ja tutkimuksissa on huomattu, että jos uudistamisalue jää alle kolmannekseen koko valuma-alueen pinta-alasta vaikutus voi laimentua niin, ettei sitä pystytä mittaamaan normaaleilla vesianalyysimenetelmillä. Myös sää vaikuttaa huuhtoumiin, sateisina vuosina varsinkin kiintoaineen huuhtoumat voivat kasvaa. Myös lumen sulamisesta johtuvat runsaat kevättulvat voivat lisätä huuhtoumia, kun vesi ei ehdi imeytyä syvempiin maakerroksiin vaan liikkuu orgaanisessa kerroksessa kohti vesistöjä. Vesistöjen varsilla hakkaamattomat suojavyöhykkeet voivat toimia tehokkaina ravinteiden ja kiintoaineen pidättäjinä, jos ne on mitoitettu oikein (Ring ym. 2019). Suojavyöhykkeellä kasvillisuuden ravinteiden otto, aineiden kemiallinen pidättyminen maaperään sekä kiintoaineen mekaaninen pidättyminen kasvillisuuden joukkoon vähentävät vesistökuormitusta (Kuva 27). Suojavyöhyke pitäisikin jättää mahdollisimman koskemattomaksi, jotta vedelle ei muodostuisi ajourista tai muokausjäljestä oikovirtausreittejä.

Kuormitusta vastaanottavan vesistön ominaisuudet ja herkkyys muutoksille vaikuttavat siihen näkykö kuormituksen lisäys rehevöitymisenä tai liettymisenä. Valuma-alueen suunnittelu metsätaloustoimien ajoittamisessa ja jaksottamisessa useammille vuosille tai vuosikymmenille on yksi keino vähentää kuormituksen haittoja vesistöissä.



**Kuva 27.** Vesistön varteen jätettävällä suojavyöhykkeellä ei tehdä maanmuokkausta, jolloin kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoumariskit vähenevät merkittävästi. Kuva Vengasojan koulutuskohteelta Pudasjärveltä, kuvaaja Sirpa Piirainen/Luke.

## 9.6. Elohopea

Elohopea on raskasmetalli, joka sitoutuu ravintoketjuun ja siirtyy myös ihmiseen kalaravinnon kautta. Elohopeaa tulee maaperään laskeuman mukana ja se sitoutuu helposti orgaaniseen ainekseen, kuten humus- ja turvekerrokseen. Humuspitoisissa vesistöissä petokalojen elohopeapitoisuudet voivat ylittää ihmisravinnolle asetetut raja-arvot. Maanmuokkauksen vaikutuksesta elohopean huuhtoutumisesta tiedetään vähän. Hapettomissa oloissa, kuten vesipainanteissa, elohopea voi metyloitua ja vapautua vesiliukoiseen muotoon ja kulkeutua vesistöön ajouran tai muokkausjäljen muodostamaa uomaa pitkin. Myös suojavyöhykkeen vettyminen hakkuualalta valuvan veden takia voi muodostaa riskin elohopean huuhtoutumiselle, siksi suojavyöhykkeen riittävä leveys on tärkeää.

## 9.7. Turvemaiden uudistamisen vaikutus vesistökuormitukseen

Turvemaiden uudistamishakkuu voi johtaa maaperän vettymiseen, jolloin maanmuokkauksen tarkoituksena on usein myös ympäristöä kuivempien taimettumis- tai istutuspaikkoja luominen ja liikaveden poisjohtaminen. Vesistökuormituksen lisääntymiselle orgaanisen aineksen kasaumat, mättäät ja tehokas vettä ja huuhtoutuvia ravinteita poisjohtava uomasto muodostavat riskin. Jos maanmuokkauksen aikaansaama kuivatus on liian tehokasta, se edesauttaa ravinteiden vapautumista hakkuutähtien lisäksi myös turpeesta. Tällöin on vaarana, että vapautuvia ravinteita on liikaa kasvien- ja mikrobien tarpeisiin nähden. Turvemaa on kivennäismaahan verrattuna huono ravinteiden pidättäjä ja

ylimääräiset ravinteet huuhtoutuvat. Jos kuivatus on tehotonta, alue ei uudistu eikä pintakasvillisuus pääse toipumaan liiallisen märkyyden takia, jolloin vaarana on myös ravinteiden huuhtoutuminen. Hapettomat olosuhteet vapauttavat myös orgaanista ainetta ja siihen sitoutuneita ravinteita, kuten fosforia (Nieminen ym. 2017). Myös elohopean huuhtoutumiselle vettyminen on riski.

Turvemailta huuhtoutuvien ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutumisriskit hakkuiden ja maanmuokkauksen jälkeen ovat moninkertaisia kivennäismaihin verrattuna. Tutkimuksissa todetut kiintoaineen, typen ja fosforin pitoisuudet turvemaiden uudistusaloilta valuvassa vedessä ylittävät selvästi kivennäismaiden kokeissa mitatut pitoisuudet (vrt. Nieminen 2003, Nieminen ym. 2017 ja Palviainen ym. 2015). Maanmuokkausmenetelmät, joissa samalla kunnostetaan uomastoa, lisäävät kiintoaineen ja partikkelimuotoisen fosforin vesistökuormitusta (Nieminen ym. 2017). Myös ammonium- ja nitraattityypikuormitus voi lisääntyä monikymmenkertaiseksi (Lundin 1999). Siksi maanmuokkauksessa muodostuneeseen uomastoon pitää suhtautua kuin kunnostusajituksessa aikaansaatuun uomastoon ja noudattaa samoja vesiensuojeluperiaatteita. Veden virtausnopeutta hillitään korkeuskäyriin nähdessä oikein suunnatuilla uomilla, kaivukatkoilla ja tarvittaessa padoilla, jolloin vältetään syöpymisvaara ja lisääntyvä kiintoainekuormitus. Varsinkin ohutturpeiset kasvupaikat ovat herkkiä uomien syöpymiselle (Nieminen ym. 2017). Kunnostusajituksessa käytetyt menetelmät, kuten laskeutusaltaat, kosteikot ja pintavalutuskentät, jotka poistavat myös ravinteita valumavedestä, ovat käyttökelpoisia vesiensuojelumenetelmiä myös turvemaiden maanmuokkauksessa. Turvemailta myös pienaukkohakkuut ja jatkuvapeitteinen metsänkasvatus, jolloin maanmuokkauksen ja vesien poisjohtamiseen tarve on hyvin pientä, ovat vesiensuojelun kannalta hyvin suositeltavia.

## 10. Maanmuokkauksen vaikutus aluskasvillisuuteen, lahopuumääriin ja lahopuulla kasvavaan epiksyylilajistoon

Ilkka Vanha-Majamaa

Tässä luvussa käsitellään maanmuokkauksen vaikutuksia aluskasvillisuuteen ja maalahopuihin. Aluskasvillisuus muodostuu kenttä- ja pohjakerroksesta, jotka koostuvat lähinnä varvuista, ruohoista ja heinistä, sekä sammalista ja jäkälistä. Maanmuokkauksella on aluskasvillisuuteen suuria lyhyt- ja pitkäaikaisvaikutuksia, joihin vaikuttaa käytetty muokkausmenetelmä. Maanmuokkauksen lyhytaikaisvaikutukset aluskasvillisuuteen tunnetaan suhteellisen hyvin, pitkäaikaisvaikutuksia on vaikeampi todentaa. Aluskasvillisuuden muutosten lisäksi ekologisesti merkittävää on maanmuokkauksen vaikutus maalahopuihin ja niillä elävään epiksyylilajistoon.

### 10.1. Maanmuokkauksen vaikutus metsien aluskasvillisuuteen

Maanmuokkauksen vaikutuksia kivennäismaiden aluskasvillisuuden kehitykseen on Suomessa tutkittu Lapin metsänuudistamisaloilla jo 1970-luvulta lähtien (mm. Ferm ja Pohtila, 1977). Muokkauksen jälkeen paljastuneelta kivennäismaalta häviää alkuperäinen lajisto ja siinä käynnistyy primaarisukkesio. Sukkession alkuvaiheessa paljastuneella kivennäismaalla itävät siihen muualta tulleet siemenet ja itiöt. Muokkausalojen lajikoostumus ja myöhempi sukkesiokehitys riippuu kasvupaikkatyyppistä ja sen ravinteisuudesta, ilmastosta, sääolosuhteista ja ympäröivästä kasvillisuudesta. Maaperän paljastuminen voi aktivoida myös maaperän siemenpankin, jolloin maaperään kenties vuosikymmenten kuluessa kertyneet siemenet voivat itää suotuisissa olosuhteissa. Tällaisia lajeja ovat esimerkiksi kannerva (*Calluna vulgaris*), rohtotädyke (*Veronica officinalis*) ja useat saralajit (*Carex* spp.) (Vanha-Majamaa 1998). Paljastunut kivennäismaa tarjoaa pioneirilajeille, kuten karhunsammalille (*Polytrichum* spp.) ja nuokkuvarstasammalelle (*Pohlia nutans*) ja isokeuhkosammalelle (*Marchantia polymorpha*) uusia kasvupaikkoja. Aorauspalteessa menestyviä kasvilajeja ovat mm. maitohorsma (*Epilobium angustifolium*) ja vadelma (*Rubus idaeus*). Muokkaamattomalla maalla käynnistyy sekundäärisukkesio valon ja kosteuden lisääntyessä uudistamishakkuun jälkeen (Ferm ja Pohtila 1977, Ferm ja Sepponen 1981). Vanhan metsän lajisto taantuu ja pioneirilajien osuus kasvaa. Esimerkiksi Etelä-Suomen kuusikoissa äestymisen vaikutukset pohjakerroksen lajistoon erottuvat selvästi pelkän hakkuun vaikutuksista vielä 10 vuotta hakkuun jälkeen mm. vadelman (*Rubus idaeus*) runsautena ja seinäsammalen (*Pleurozium schreberi*) alhaisempaan peittävyteenä (Vanha-Majamaa ym. 2017). Sukkession edetessä ja puuston kehittyessä aluskasvillisuus muuttuu varjoa sietäväksi vanhemman metsän lajistoksi.

Maanmuokkaus, varsinkin vuosikymmeniä yleisesti käytetty äestys, on vaikuttanut metsien aluskasvillisuuteen monin tavoin ja pitkäaikaisesti (Vanha-Majamaa ja Reinikainen, 2000; Bergstedt ym. 2008). Maanmuokkauksen pitkäaikaisvaikutukset näkyvät mm. VMI-aineistossa (Reinikainen ym. 2000), joskin jossakin määrin tulkinnanvaraisesti, sillä maanmuokkauksen pitkäaikaisvaikutuksia on vaikea erottaa pelkästään uudistamishakkuiden vaikutuksista. VMI-aineistojen mukaan mm. mustikka (*Vaccinium myrtillus*) on taantunut ja syyksi on arveltu avohakkuuta ja maanmuokkausta (Salemaa, 2000a). Mustikka kärsii maanpinnan rikkoutumisesta (Tolvanen 1994) ja sen palautuminen voi kestää vuosikymmeniä (Tonteri ym. 2016). Metsissä ovat yleistyneet varsinkin pioneerisammalet. Maanmuokkaus on todennäköisesti vaikuttanut niiden yleistymiseen. Edellä mainittujen lajien lisäksi yleistyneitä, paljaalla kivennäismaalla viihtyviä lajeja ovat esimerkiksi hiekkasammalet (*Pogonatum* spp.), lehtokarhunsammal (*Polytrichastrum formosum*) ja isomyyränsammal (*Atrichum undulatum*) (Vanha-Majamaa ja Reinikainen, 2000).



Maanmuokkaus vaikuttaa aluskasvillisuuteen sitä voimakkaammin mitä voimakkaampi maanmuokkaus on (Haeussler ym. 1999, 2004) (Kuva 28). Mätästyksessä maanpinnasta käsitellään äestystä pienempi osuus, joten sen vaikutukset lajistoon ovat äestystä vähäisemmät (Peltzer ym. 2000). Mätästyksen jälkeen aluskasvillisuuden palautuminen on nopeampaa kuin voimakkaammilla maanmuokausmenetelmillä (Haeussler ym. 2004). Yleisesti boreaalinen metsäkasvillisuus palautuu suhteellisen hyvin. Turvemaidella ojituksen seurauksena kasvillisuus on muuttunut pysyvämmiin vedenpinnan alenemisen ja turpeen maatumisen seurauksena (Reinikainen ym. 2000).



**Kuva 28.** Kääntömätästyksessä (vas.) aluskasvillisuus häiriintyy vähemmän kuin laaja-alaisemmin maata rikkoivissa menetelmissä, kuten äestyksessä (oik.). Kuvat: Katri Himanen/Luke (vas.) ja Erkki Oksanen/Luke (oik.).

## 10.2. Maanmuokkauksen vaikutukset lahoppuustoon ja niillä kasvavaan lajistoon

Maanmuokkauksella on selkeä vaikutus myös lahoppuuston säilymiseen. Herkimmin maanmuokkauksessa tuhoutuvat lehtipuut ja pidemmälle lahonneet maapuut, joilla elää yleensä runsas ja vaateliaas lajisto (Rabinowitsch-Jokinen ja Vanha-Majamaa 2010). Esimerkiksi Hautalan ym. (2004) tutkimuksessa talvella tehdyssä tuoreen kankaan avohakkuussa oli tuhoutunut 7,8 % maalahoppuustosta, mutta hakkuuta seuranneen äestysten jälkeen peräti 67,6 %. Samassa tutkimuksessa arvioitiin, että 2000-luvun alkuun mennessä maanmuokkauksella oli Suomessa tuhottu 4–6 milj. m<sup>3</sup> lahoppuuta. Lahoppuun tuhoutumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa valitsemalla vähemmän maanpintaa rikkova muokausmenetelmä ja pyrkimällä säästämään olemassa olevaa lahoppuuta. Myös mätätys vähentää lahoppumääriä yli 30 %, mutta sen vaikutukset ovat äestystä lievempiä (Rabinowitsch-Jokinen ym. 2012). Pidemmälle maatuneista kannoista voi mätästyksessä tuhoutua lähes 70 % (Rabinowitsch-Jokinen ym. 2012).

Äestys vähentää myös maapuilla kasvavan epiksyylilajiston (sammalet, maksasammalet, jäkälät, putkilokasvit) peittävyksiä ja lajirunsautta. Esimerkiksi sammalten, maksasammalten ja jäkälien lajimäärät ja peittävydet laskevat hakkuista ja äestyksestä säästyneillä maapuilla n. 20–30 % verrattuna tilanteeseen ennen hakkuuta (Hautala ym. 2009). Mätästyksen vaikutukset epiksyylilajistoon ovat huomattavasti pienempiä (Rabinowitsch-Jokinen ym. 2012). Avohakkuu ja hakkuutähteiden korjuu laskevat epiksyylilajiston peittävyttä ja lajimäärää. Niiden jälkeen tehtävä mätätys vähentää ainoastaan makrojäkälää, kuten sukujen *Bryoria*, *Cladonia*, *Parmeliopsis* lajeja (Rabinowitsch-Jokinen ym. 2012). Koska maanmuokkauksessa tuhoutuu eniten juuri pidemmälle lahonneita maapuita ja lehtipuita, joilla kasvaa vaateliaampaa lajistoa, olisi muokkaamatta jättämisellä siten merkittävä vaikutus paitsi lahoppumääriin, myös niillä kasvavaan lajistoon.

Lahopuun määrään voidaan vaikuttaa mm. säästöpuuryhmien sijoittelulla. Ne kannattaa sijoittaa mahdollisesti olemassa oleviin lahopuukeskittyymiin, jolloin mahdollisimman paljon hakkuita edeltävää lahopuustoa ja sillä kasvavaa lajistoa säilyy uudistusvaiheen yli (Vanha-Majamaa ja Jalonen 2001). Tutkimustulosten mukaan Etelä-Suomen kuusivaltaisissa tuoreen kankaan metsissä esiintyy huomattavan paljon luontaista biotooppivaihtelua. Esimerkiksi kokeellisessa MONTA -tutkimuksessa (monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa) kokeeseen valittujen mustikka (MT)- ja käenkaali-mustikka (OMT) -metsätyypeillä olleiden koelajien tarkemmassa biotooppikartoituksessa oli yhteensä 12 metsä- ja suotyyppeä 17 eri kombinaationa (Jalonen ja Vanha-Majamaa 1998). Monimuotoisuuden säilyttämiseksi olemassa oleva biotooppityyppivaihtelu on huomioitava maanmuokkausta suunniteltaessa nykyistä paremmin. Kokeellisesti on myös osoitettu, että mustikkatyypillä yleisesti esiintyvien kosteampien, esim. korpipainanteiden lahopuumäärät ovat selkeästi ympäröiviä kivennäismaita suurempia: 15,6 m<sup>3</sup>/ha / 2,2 m<sup>3</sup>/ha (Vanha-Majamaa ja Jalonen 2001). Uudistusaloilla keskimääräinen lahopuun kuutiomäärä on n. 7 m<sup>3</sup>/ha (Korhonen ym. 2017). Yhdistämällä metsien uudistamisessa kulot maanmuokkaukseen voidaan saada monimuotoisuuden kannalta merkittäviä positiivisia lajistovaikutuksia, mikäli uudistusaloille jää riittävästi hiiltynyttä lahopuuta, sillä hiiltyneellä lahopuulla kasvaa monimuotoisempaa lajistoa (Berglund ym. 2011).

Lahopuun tuhoutumista metsänuudistamistoimien yhteydessä voidaan vähentää oikeanlaisella ohjeistuksella, oikeilla menetelmävalinnoilla ja huolellisella työvaiheiden suunnittelulla. Työn toteutuksen laatua tulisi ohjata. Lahopuustoltaan ja lajistoltaan arvokkaat kohteet tulisi tunnistaa nykyistä paremmin ja käyttää näillä kohteilla kevyttä maanmuokkausta tai jättää ne muokkaamatta.

# 11. Maanmuokkauksen sosiaalinen kestävyys

Katri Himanen ja Ville Kankaanhuhta

Maanmuokkaus on sosiaalisen kestävyden näkökulmasta eräs metsätalouden ongelmallisimmista toimenpiteistä. Voimakkaan maanmuokkauksen on todettu heikentävän esteettistä maiseman laatua (Karjalainen 2006) ja metsän miellyttävyyttä matkailukäytössä (Tyrväinen ym. 2016). Esimerkiksi Tapijon hyvän metsänhoidon suosituksissa (Äijälä ym. 2019) kehoitetaan ottamaan maanmuokkauksen maisemavaikutukset huomioon menetelmävalinnassa ja jättämään muokkaus jopa tekemättä virkistyskäytön tai maiseman kannalta arvokkailla kohteilla. Maanmuokkausta pidetään ongelmallisena myös marjastuksen näkökulmasta (Metsiemme katoava aarre 2018).

Sosiaalisen kestävyden käsite on kuitenkin hyvin monimuotoinen ja sitä käytetään sekä kirjallisuudessa että arkipuheessa usein puutteellisesti määriteltynä. Juurola ja Karppinen (2003) analysoivat käsitettä ja pitivät sitä alisteisena ekologisen kestävyden käsitteelle. Kansallisen metsästrategiassa (2019) todetaan sosiaalisen kestävyden sisältävän työllisyyden sekä työhyvinvoinnista ja osaamisen ajantasaisuudesta huolehtimisen sekä metsien monipuolisen virkistys- ja hyvinvointikäytön turvaamisen.

Sekä sosiaalisen kestävyden tutkimuksesta että päätöksenteosta tekee haastavaa se, että kestäväenä pidetty vaihtelee riippuen sidosryhmästä. Kestävyyttä voidaan tarkastella mm. yhteiskunnan kokonaishyvinvoinnin näkökulmasta, metsänomistajien, metsiä muuten elinkeinona käyttävien – esimerkiksi matkailuyrittäjien – preferenssien kautta tai metsiä virkistykseen käyttävien kansalaisten näkökulmasta. Metsänkäsittelymenetelmien hyväksyttävyyys voi saada myös kansainvälisiä osapuolia esimerkiksi sertifiointijärjestelmien tai hiilitasesopimusten kautta.

Eri ikäryhmillä voi olla toisistaan poikkeavia näkökulmia metsien käytön sosiaalisesta kestävydestä, ja näkemykset voivat olla myös sukupuolittuneita (Silvennoinen ym. 2001, 2002). Usein kestävyteen liittyy niin ikään ylisukupolvisuus, eli metsänkäsittelymenetelmien vaikutukset tulevaisuuden käyttäjille tulee myös huomioida (Juurola ja Karppinen 2003). Näkemykset kestävästä tai suotavasta metsänkäsittelymenetelmästä eivät rajoitu myöskään pelkästään henkilöiden tai muiden tahojen lailliseen omistajuuteen. Matilaisen (2019) väitöskirjan mukaan osa luontomatkailuyrittäjistä kokee hyödyntämiensä metsiä kohtaan psykologista omistajuutta ja käyttöoikeutta laillisesta omistussuhteesta riippumatta. Psykologisen omistajuuden käsite voi avata syitä maankäytöllisiin ristiriitoihin ja siten sosiaalisen kestävyden ongelmiin.

## 11.1. Metsien virkistys- ja matkailukäyttö

### 11.1.1. Vaikutukset marjakasveihin

Maanmuokkauksen mainitaan usein heikentävän marjasatoja. Mustikan on havaittu olevan puolukkaa arempi maanpinnan rikkomiselle (Tolvanen 1994) ja kärsivän uudistamishakkuista enemmän (Tonteri ym. 2016). Tonterin ym. (2016) tutkimuksessa lisääntyvä valon määrä ja ympäristön äärevöityminen uudistamishakkuun jälkeen selittivät osin lajien peittävyysmuutoksia eikä maanmuokkauksen vaikutusta tuloksiin pysty aineistossa erottamaan. Puolukan peittävyden havaittiin palanneen uudistamishakkuuta edeltävälle tasolle noin 30 vuodessa.

Metsänhoidon suosituksissa riistametsänhoitoon (Lindén ym. 2014) kehoitetaan käyttämään mahdollisimman keveitä maanmuokkausmenetelmiä useille riistalajeille tärkeän mustikan varjelemiseksi. Oppaassa kehoitetaan myös merkitsemään metsäkanalintujen pesäpaikat ennen maanmuokkausta, mikäli muokkaus tehdään alkukesästä.

Mustikan ja puolukan peittävyksien on havaittu pienentyneen 1950-luvulta 1990-luvulle tultaessa (Salemaa 2000a, Salemaa 2000b). Taustalla on puuston tiheyden lisääntyminen kyseisellä ajanjaksolla sekä avohakkuiden ja maanmuokkauksen yleistyminen. Toisaalta vastaavalla ajanjaksolla vadelman peittävyys on lisääntynyt, mikä niin ikään linkittyy avohakkuiden lisääntymiseen, sillä vadelma on tyyppillinen uudistusalojen pioneerikasvi (Reinikainen 2000). Sosiaalisen kestävyuden näkökulmasta oleellinen kysymys on se, millainen marjakasvin tai muun keruutuotteen peittävyys tai yleisyyden lasku on virkistyskäytölle tai keruuelinkeinoille merkittävä?

### 11.1.2. Vaikutukset maisemaan

Silvennoisen (2017) väitöskirjatutkimuksen mukaan metsänuudistaminen rumentaa aina maisemaa. Erityisesti viljelty avohakkuuala koetaan rumaksi. Toisaalta työssä todetaan, että maisemallinen haitta on metsän kiertoaikaan nähden melko lyhytaikainen. Tyrväinen ym. (2016) toteavat ulkomaalaisilla matkustajilla Lapissa tehdyssä tutkimuksessa, että uudistusalat soveltuvat kokeessa esitellyistä metsäaloista kaikkein huonoimmin matkailukäyttöön niiden ulkonäön vuoksi. Alat, joilla on nähtävissä kantoja, hakkuutähteitä tai maanmuokkauksen jälkiä eivät täytä ulkomaalaisten turistien vaatimuksia puoleensavetävälle matkailukohteelle. Metsänkäsittelemien menetelmien maisemaa heikentävän vaikutuksen todettiin olevan voimakkaampaa kesällä kuin talvella.

Edellä mainittujen julkaisujen heikkoutena on se, että maanmuokkauksen roolia avohakkuualojen epäviehättävyydessä ei eritellä. Epäselväksi jää, johtuuko epäviehättävyys ensisijaisesti maanmuokkauksesta, puuttomuudesta vai muista tekijöistä. Tutkimusten kuvamateriaalissa näkyy maanmuokausjälkiä, mutta niissä ei selviä mitä maanmuokkaustapoja on tarkemmin ottaen käytetty. Maanmuokkauksen intensiteetin roolia rumuuden syynä ei siis pysty niiden perusteella arvioimaan. Karjalaisen (2006) väitöskirjassa suuret alat, joissa oli tehty maanmuokkaus ja jossa näkyi hakkuutähteitä, koettiin epäviehättävimmiksi uudistusaloiksi kuvavertailussa. Karjalainen toteaa, että kuvissa käytetyt 1990-luvun alun maanmuokkausmenetelmät eivät välttämättä kuvaa nykyistä tilannetta.

Maisemahaittojen kokemus on suhteellista ja riippuu katsojan tietotasosta ja kulttuuritaustasta. Metsänomistajat ja metsäammattilaiset kokivat Silvennoisen (2017) mukaan metsänhoitomien maisemahaitat muita ryhmiä vähäisempinä. Tyrväinen ym. (2016) toteavat nuorten kasvatusmetsien kelpaavan ulkomaisille turisteille matkailukäyttöön, vaikka Silvennoinen ym. (2001 ja 2002) on osoittanut tiheiden, nuorten metsiköiden olevan suomalaisista epäviehättäviä.

Viitteet maanmuokkauksen aiheuttamasta haitasta metsien monikäytölle ovat vahvoja huolimatta haittojen väliaikaisuudesta ja riippuvuudesta kokijan taustasta. Lisätutkimusta tarvitaan erilaisten maanmuokkaustapojen vertailemiseksi (Kuva 29) sekä maanmuokkauksen ajankohdan ja muiden toteutuksen yksityiskohtien vaikutusten tarkentamiseksi. Esimerkiksi paljastetun kivennäismaan osuus koko maa-alasta vaikuttanee marjakasvillisuuden kehitykseen sekä maastossa liikkumisen vaikeutumisen määrään. Samoin maanmuokkauksen puuston tilajärjestystä ohjaava vaikutus – esimerkiksi puurivistöjen synty – voi liittyä maisemallisiin haittoihin. Jatkossa tutkimuksissa on hyödyllistä pyrkiä selvästi tarkemmin erottelemaan avohakkuun, korjuujäljen, kannonnoston, maanmuokkauksen ja muiden uudistumistapojen merkitys pintakasvillisuusmuutoksiin ja maisemavaikutuksiin eri aikajäniteillä. Esimerkiksi matkailulle aiheutuvasta haitasta olisi päätöksentekoa varten hyödyllistä tuottaa myös talouslaskelmia.



**Kuva 29.** Vaikutukset maisemaan ja maaston vaikeakulkuisuuteen vaihtelevat maanmuokkaustapojen välillä. Esimerkiksi seulakauhalla tehty muokkaus (vas.) vaikeuttaa maastossa liikkumista ojitusmätästystä (oik.) vähemmän. Maanmuokkauksen maisema- tai virkistyskäyttötutkimuksissa on tärkeää erottaa eri muokkausmenetelmät toisistaan. Kuvat: Katri Himanen/Luke.

## 11.2. Yksityismetsänomistajien näkökulma

Kansalaisten perusoikeus terveelliseen elinympäristöön sekä erilaiset metsien käyttöä ohjaavat säädökset ja konventiot, kuten Suomessa laajat jokamiehenoikeudet ohjaavat käsityksiä ja vaatimuksia metsien sosiaalisesti kestävästä käytöstä. Perustuslaillinen omaisuuden suoja sekä metsän omistuksen rakenne vaikuttavat niin ikään käsityksiin sosiaalisesta kestävydestä ja mahdollisuuksiin toteuttaa sosiaalisesti kestävää metsien käyttöä.

Valtio sekä erilaiset julkishallinnolliset organisaatiot omistavat Suomessa noin 40 % metsätalousta maasta pääosin väestökeskittymien ulkopuolella Pohjois- ja Itä-Suomessa (Suomen virallinen tilasto 2018). Toisaalta maankäytölliset ristiriidat porotalouden sekä matkailun kanssa keskittyvät juuri valtion omistamille maille Lapissa. Esimerkiksi Avohakkuut historiaan -kansalaisaloitteessa (2018) metsänkäsittelymenetelmien muutosta vaaditaan valtion omistamissa metsissä. Taustalla voi olla valtion metsiin kohdistuva kollektiivisen tai psykologisen omistajuuden ajatus, jolloin kestävyden vaatimus on erilainen yksityismetsiin nähden.

Etelä-Suomen parempituottoiset metsämaat ovat suurelta osin yksityisten metsänomistajien, eli yritysten sekä yksityishenkilöiden omistuksessa. Suomessa yli 600 000 henkilöä omistaa metsää, ja heidän tavoitteensa metsänhoidolle sekä metsäomaisuuden merkitys tulonlähteenä ovat hyvin vaihtelevia. Valtaosa (87 %) metsänomistajista pitää puuntuotantoa tärkeänä metsänkäytön tavoitteena (Maidellin ym. 2019). Noin kolmannes metsänomistajista on monitavoitteisia, eli he arvostavat luontoarvoja, puuntuotantoa, virkistys- ja maisema-arvoja sekä metsästystä (Maidellin ym. 2019, Hänninen ym. 2011). Erilaiset tavoitteet näkyvät myös metsänomistajien suhtautumisessa maanmuokkaukseen.

Kasanen (2011) tutki väitöskirjassaan yksityismetsänomistajien metsänhoidollisia valintoja. Osa metsänomistajista painotti maanmuokkausvalinnoissaan sen tuomaa taloudellista hyötyä: *"Vaikka se on ruman näköstä hommaa, ja on ruman näkönen, mutta kun sitä ei näön vuoksi sitä mehtää pieta, vaan kun se ois tarkoitus että se tuottas niitä puita..."*. Osa metsänomistajista koki muokkauksen jopa helpottavan maastossa liikkumista ja tulevia metsänhoitotöitä. Metsän ulkonäköön liittyviä haittoja pidettiin myös osin nopeasti katoavina. Osa metsänomistajista halusi välttää tarpeettoman voimakasta maanmuokkausta ja piti aiempien maanmuokkausmenetelmien, esimerkiksi syväaurauksen laajaa käyttöä virheenä. Muutama haastatelluista metsänomistajista ei ollut koskaan antanut tehdä

maanmuokkausta metsissään. Maanmuokkauksen suunnittelussa ja toteutuksessa ei aina myöskään löytynyt yksimielisyyttä metsäammattilaisten kanssa.

Yksityismetsänomistuksessa sosiaalinen kestävyys määrittyy suurelta osin omistajan itsensä tarpeista ja valinnoista. Metsänomistajan näkökulmasta sosiaalinen kestävyys voi pitää sisällään omaisuuden suojan ja sen käytön valinnanvapauden sekä mahdollisuuden harjoittajaa elinkeinoa. Esimerkiksi maanmuokkausta koskevat rajoitukset saattavat siten näyttäytyä sosiaalisesti kestävämmästä ja uusien normien omaksuminen edellyttää vallankäytön hyväksyttävyyttä. Oleellinen kysymys onkin kuinka yhteiskunnassa esiintyvät erilaiset käsitykset sosiaalisesti kestävästä metsänhoidosta voidaan yhdistää?

### 11.3. Työllisyys ja työsuojelulliset näkökohdat

Maanmuokkauksen vaikutuksia sosiaaliseen kestävyteen voidaan arvioida myös sen työllisyysvaikutusten kautta, kuten ekosysteemipalvelujen vaikutusten arvioinnissa on tehty (Lehtoviita ja Päivinen 2018). Maanmuokkaus tarjoaa kesäkaudella töitä noin puoleksi vuodeksi 700–900 muokkaajalle (Strandström ja Poikela 2016).

Voimakkaimmat maanmuokkausmenetelmät, kuten ojitusmätästys sekä kivisten maiden laikkumätästys vaikeuttavat maastossa liikkumista mm. istutuksen (Mäki 2012) sekä taimikonhoidon työvaiheissa. Maanmuokkauksen valinta vaikuttaa näin ollen paitsi näiden töiden suorittamisen nopeuteen, myös metsurien kaatumis- ja nyrjähdysriskeihin.

### 11.4. Kestävyyden varmistaminen ja työkalut

Kestävyyden eri osa-alueiden varmistaminen edellyttää poliittista päätöstä tavoiteltavista päämääristä, mitattavista tavoitteista sekä strategiasta, jolla päämäärät pyritään saavuttamaan. Tavoitteiden saavuttamista arvioidaan määritellyin mitattavin indikaattorein. Esimerkiksi Kansallisessa metsästrategiassa (2019) sosiaalisen kestävyden tavoitteena on kasvattaa mm. lähiulkoilukertojen määrää. Tavoitteena on lisäksi kasvattaa metsien ekosysteemipalveluihin nojaavien elinkeinojen, kuten luonnontuotealan sekä luontomatkailun liikevaihtoa ja arvonlisäystä. Yleisenä strategian päämääränä on myös työllisyys. Seurantamenetelmiä ja eri työkaluja hyödyntäviä toimintamalleja kehittämällä sosiaalisen kestävyden toteutumista kansallisella tasolla voi olla mahdollista parantaa.

Metsäpolitiikassa on perinteisesti hyödynnetty normiohjausta, taloudellista ohjausta ja informaatio-ohjausta asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi (Hänninen 2001). Maanmuokkaukseen on kehitettävissä uusia sekä ekosysteemipalvelujen tarjontaa että metsäbiotaloutta tukevia toimintamalleja, työkaluja ja palveluja, jotka täydentävät perinteisiä ohjauskeinoja. Käytettävissä on mm. osallistavan palvelukehityksen ja laadun hallinnan menetelmiä.

Metsänomistajan tai muun muokkaustyön tilaajan on oleellista pyrkiä määrittämään tilattava palvelu ja tavoitteet yhdessä mahdollisimman selkeästi. Nykyisillä maanmuokkauksineilla on usein mahdollista vaihtaa muokkauksen voimakkuutta samalla kohteella, jolloin tavoitteisiin nähden liian voimakkaalta muokkaukselta on mahdollista välttyä ja pienipiirteinen erityiskohteiden säilyttäminen on mahdollista. Maanmuokkaukseen liittyvän yleistajuisen tiedon hyvä saatavuus helpottaa palvelun ostajan ja myyjän välistä yhteistyötä palvelusopimusta määriteltäessä ja palveluja toteutettaessa.

## 12. Johtopäätökset

Hannu Ilvesniemi

Tunnumme Suomessa metsiemme historian hyvin ja tiedämme sen perusteella, että metsissämme oleva puuvarasto on suurempi kuin koskaan mitatun historian aikana ja metsät kasvavat vuosittain enemmän puuta kuin koskaan. Muutos on tapahtunut samaan aikaan, kun metsien uudistamisessa on käytetty erilaisia maanmuokkausmenetelmiä. Maanmuokkauksen ansiosta metsät ovat pääsääntöisesti täystiheitä, tasaikäisiä ja hyväkasvuisia.

Maanmuokkausmenetelmät ovat muuttuneet vuosikymmenten saatossa, mutta Suomessa yleisillä melko hienojakoisilla moreenimailla kohoumia muodostavat maan kosteuteen ja huokostilaan paikallisesti vaikuttavat menetelmät ovat antaneet parhaan kasvuvasteen. Lukuisissa pohjoismaisissa tutkimuksissa, mukaan lukien aiemman Metsäntutkimuslaitoksen koko maan kattavissa maanmuokkauksen vaikutuksia selvittävässä kenttäkokeissa, on voitu osoittaa kiistattomasti, että maanmuokkaus parantaa syntyneen puuston kasvua muokkaamattomaan käsittelyyn verrattuna. Käytettävissä olevan aineiston perusteella on ilmeistä, että hyvän uudistamistuloksen varmistamiseksi myös jatkuvan kasvatuksen kohteilla tarvitaan maanmuokkausta. Tutkimusten perusteella tiedämme myös, että maanmuokkaus ei vähennä maan hiilivarastoja. Maanmuokkaus lisää puuston kasvua ja kasvava metsä toimii aiempaa isompana hiilinieluna. Jos samanaikaisesti metsien kasvu säilyy hakuaita suurempana, myös metsien hiilivarasto kasvaa.

Suomalainen metsänomistajakunta on hyvin moninainen, mikä tarkoittaa, että maanomistajien metsilleen ja niiden käytölle asettamat tavoitteet voivat olla varsin erilaisia. Puuston hyvän uudistumisen ja kasvun lisäksi tärkeää voi olla esimerkiksi kohteella tehtävien toimenpiteiden vaikutukset maisemaan, lahopuiden tarjoamaan luonnon monimuotoisuuteen, riistan viihtymiseen ja marjastukseen. Metsänomistajien erilaiset tavoitteet ja arvot voidaan hyvällä suunnittelulla huomioida uudistamis- ja maanmuokkausmenetelmää valittaessa.

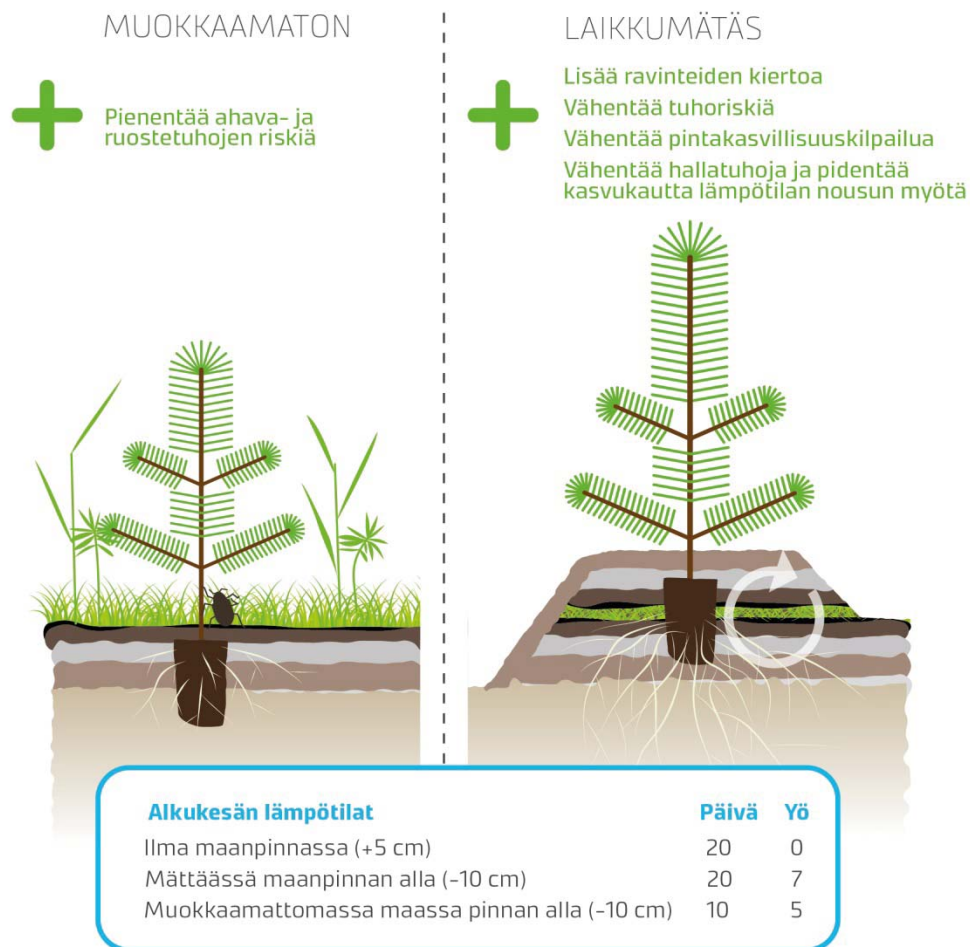
Yksi uudistamisen ja siihen liittyvän maanmuokkausmenetelmän valinnan kannalta iso kysymys on metsäomistuksen pilkkoutuminen ja metsänomistajien asuinpaikan ja metsäpalstan väliset pitkät etäisyydet ja omistajien etäytyminen metsiensä arjesta. Siksi omistajaa palveleva ammattitaitoinen toimenpiteiden suunnittelu on tärkeää ja tarjolla olevien valintojen vaikutuksia avaavaa kohdennettua palvelutoimintaa kannattaisi lisätä ja kehittää. Metsänomistajille itselleen suunnatulle koulutus-toiminnalle on myös tarvetta, niin että maanmuokkausmenetelmien valintaan liittyvät henkilökohtaiset päätökset perustuisivat todennettuun tietoon, eivätkä esimerkiksi mielipiteisiin.

Taloudelliset laskelmat osoittavat maanmuokkauksen olevan kannattava investointi niin kylvön kuin istutuksenkin yhteydessä. Se on kertaluontoinen investointi, jonka vaikutukset kantavat läpi koko metsän kiertoajan. Onnistunut maanmuokkaus varmistaa, että maapohja on kattavasti tulevan puuston käytössä.

Maanpinnalle kohoumia muodostavat maanmuokkausmenetelmät lisäävät maan lämpötilaa, ilma- vuutta ja ravinteiden saatavuutta, jotka parantavat taimien juurten kasvuedellytyksiä (Kuva 30). Tällaisten muutosten vaikutuksista maaperäeliöiden muodostamien ekosysteemien toimintaan on saatavilla hyvin vähän tietoja.

Uudistamishakkuun jälkeen tapahtuvat valaistusolosuhteiden ja juuristokilpailun muutokset vaikuttavat voimakkaasti pintakasvillisuuteen. Maanmuokkaus aiheuttaa näihin muutoksiin oman lisänsä vähentäen aluksi kasvillisuuden määrää muokatuilla maapinnoilla, mutta tarjoten samalla hyvän alustan esimerkiksi koivun siementen itämiselle. Hyvin tehdyn maanmuokkauksen avulla voidaan myös

vähentää tukkimiehintäin aiheuttamia tuhoja ja pienentää taimikon hoitokustannuksia. Maaston pienipiirteisen vaihtelun huomioon ottaminen maanmuokkausta toteutettaessa mahdollistaa esimerkiksi lajistoltaan monimuotoisten kosteiden painanteiden muuta aluetta kevyempien menetelmien käyttöön.



**Kuva 30.** Maanmuokkauksella on monia positiivisia vaikutuksia, jotka takaavat taimien nopean kasvuun lähdön ja varmistavat taimien elossa säilymisen kylvön tai istutuksen jälkeen. Kuva: MAK Media Oy.

Käytännön maanmuokkaustoiminta ja sen suunnittelu on suurelta osin siirtynyt maastossa työtä tekevän koneenkuljettajan tehtäväksi. Tulevina vuosina myös täsmämetsänhoito yleisty, jolloin yhden kuvion sisällä esimerkiksi puunkorjuussa saadun tiedon pohjalta valitaan erilaisia muokkausmenetelmiä kuvion eri osiin. Tällöin korostuvat kuljettajien ammattitaito ja muokkauskaluston soveltuvuus kulloisellekin kohteelle. Kuljettajien on osattava tehdä oikeita valintoja kohteen sisällä maalajin, kasvupaikkatyypin ja muokkauskohdan hydrologisen aseman mukaan. Myös luontoarvojen, kuten lahoppuiden säästäminen edellyttävät, että kuljettaja tuntee tehtävien valintojen perusteet hyvin. Tämä korostaa kuljettajien koulutuksen tärkeyttä sekä muokkauskaluston jatkuvaa kehittämistä. Koulutuksessa voidaan hyödyntää esimerkiksi virtuaalisia simulaattoreita.

Tiedämme koetoiminnan ja käytännön kohteiden tuoman kokemuksen perusteella, miten metsät voidaan uudistaa Suomessa tehokkaasti ja onnistuneesti. Edessä väistämättä oleva ilmastonmuutos tulee muuttamaan myös metsän uudistamisen edellytyksiä. Meidän on oltava jatkuvasti ajan hermolla siitä, miten muuttuvat olosuhteet vaikuttavat esimerkiksi sopivan viljelymateriaalin, muokkaustavan ja viljelyajankohdan yhdistelmien valintaan. Myös etelässä odotettavissa olevien kuivuusjaksojen



ja pohjoisessa odotettavissa olevan pidentyneen kasvukauden vaikutuksiin maanmuokausmenetelmien valintaan tulee varautua. Tärkeitä tutkimuksen keinon selvitettäviä asioita ovat myös maanmuokkauksen avulla saadun lisääntyneen kasvun vaikutus puuston laatuun, kuten puuaineen tiheyteen, luston leveyteen ja runkomuotoon ja rungon lenkouteen. Koska luonnon olosuhteet ja tekniset ratkaisut muuttuvat koko ajan, myös jatkuvaa koetoimintaa tarvitaan muuttuvien olosuhteiden ja kehittyvien muokkaustapojen vaikutusten kartoittamiseksi.

## Viitteet

- Ahtiainen, M., Huttunen, M. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environment Research* 4: 101–114.
- Ahtikoski, A., Hökkä, H. 2019. Intensive forest management – does it pay off financially on drained peatlands? *Canadian Journal of Forest Research* 49: 1101–113. [dx.doi.org/10.1139/cjfr-2019-0007](https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0007).
- Akselsson, C., Sverdrup, H.U., Holmqvist, J. 2006. Estimating weathering rates of Swedish forest soils in different scales, using the PROFILE model and affiliated databases. *Journal of Sustainable Forestry* 21(2–3): 119–131. [https://doi.org/10.1300/J091v21n02\\_08](https://doi.org/10.1300/J091v21n02_08).
- Appelroth, S. E., Harstela, P. 1970. Tutkimuksia metsänviljelytyöstä I – Kourukuokka, kenttälapio, taimivakka, taimilaukku sekä istutuskoneet Heger ja LMD-1 istutettaessa kuusta peltoon. *Folia Forestalia* 85. 32 s.
- Avohakkuut historiaan -kansalaisaloite. 2018. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://avohakkuuthistoriaan.fi/>. [viitattu 2.7.2019].
- Berglund, H., Jönsson, M., Penttilä, R., Vanha-Majamaa, I. 2011. The effects of burning and dead-wood creation on the diversity of pioneer wood-inhabiting fungi in managed boreal spruce forests. *Forest Ecology and Management* 261: 1293–1305. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.01.008>.
- Bergquist, J., Löf, M., Örländer, G. 2009. Effects of roe deer browsing and site preparation on performance of planted broadleaved and conifer seedlings when using temporary fences. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24: 308–317. <https://doi.org/10.1080/02827580903117420>.
- Bergstedt, J., Hagner, M., Milberg, P. 2008. Effects on vegetation composition of a modified forest harvesting and propagation method compared with clear-cutting, scarification and planting. *Applied Vegetation Science* 11: 159–168. <https://doi.org/10.3170/2007-7-18343>.
- Bergsten, U. 1988. Pyramidal indentations as a microsite preparation for direct seeding of *Pinus sylvestris* L. *Scandinavian Journal of Forest Research* 3(4): 493–503.
- Bergsten, U., Goulet, F., Lundmark, T., Ottosson Löfvenius, M. 2001. Frost heaving in a boreal soil in relation to soil scarification and snow cover. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1084–1092. <https://doi.org/10.1139/x01-042>.
- Bjor, K. 1971. Forstmeteorologiske, jordbunnsklimatiske og spireøkologiske undersøkelser. Summary: Forest meteorological, soil climatological and germination investigations. *Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen* 28: 429–526.
- Björklund, N., Nordlander, G., Bylund, H. 2003. Host-plant acceptance on mineral soil and humus by the pine weevil *Hylobius abietis* (L.). *Agricultural and Forest Entomology* 5(1): 61–65. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2003.00163.x>.
- Boateng, J. O., Heineman, J. L., McClarnon, J., Bedford, L. 2006. Twenty-year responses of white spruce to mechanical site preparation and early chemical release in the boreal region of northeastern British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 2386–2399. <https://doi.org/10.1139/X06-197>.
- Boateng, J. O., Heineman, J. L., Bedford, L., Harper, G. J., Linnell Nemec, A. F. 2009. Long-term effects of site preparation and postplanting vegetation control on *Picea glauca* survival, growth and predicted yield in boreal British Columbia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24(2): 111–129. <https://doi.org/10.1080/02827580902759685>.
- Brunberg, B., Fries C. 1985. Högläggning med grävmaskin. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Resultat* 16. 4 s.
- Burdett, A. N. 1990. Physiological processes in plantation establishment and development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 415–427. <https://doi.org/10.1139/x90-059>.
- Bärring, U. 1967. Studier av metoder för plantering av gran och tall på åkermark i södra och mellersta Sverige. *Studia Forestalia Suecica* 50. 332 s.

- Carey, A. E., Lyons W. B., Owen, J. S. 2005. Significance of landscape age, uplift, and weathering rates to ecosystem development. *Aquatic Geochemistry* 11: 215–239. <https://doi.org/10.1007/s10498-004-5733-6>.
- Celma, S., Blate, K., Lazdiņa, D., Dūmiņš, K., Neimane, S., Štāls, T. A., ŠtikāK. 2019. Effect of soil preparation method on root development of *P. sylvestris* and *P. abies* saplings in commercial forest stands. *New Forests* 50: 283–290. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9654-4>.
- Chrosiewicz, Z. 1990. Site conditions for Jack pine seeding. *Forestry Chronicle* 66: 579–584. <https://doi.org/10.5558/tfc66579-6>.
- de Chantal, M., Leinonen, K., Ilvesniemi, H., Westman, C. J. 2003. Combined effects of site preparation, soil preparation, soil properties, and sowing date on the establishment of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* from seeds. *Canadian Journal of Forest Research* 33(5): 931–945. <https://doi.org/10.1139/x03-011>.
- de Chantal, M., Rita, H., Bergsten, U., Ottosson Löfvenius, M., Grip, H. 2006. Effect of soil properties and soil disturbance on frost heaving of mineral soil: A laboratory experiment. *Canadian Journal of Forest Research* 36(11): 2885–2893. <https://doi.org/10.1139/x06-181>.
- de Chantal, M., Hansen, K. H., Granhus, A., Bergsten, U., Lofvenius, M. O., Grip, H. 2007. Frost-heaving damage to one-year-old *Picea abies* seedlings increases with soil horizon depth and canopy gap size. *Canadian Journal of Forest Research* 37(7): 1236–1243. <https://doi.org/10.1139/X07-007>.
- Drössler, L., Fahlvik, N., Wysocka, N. K., Hjelm, K., Kuehne, C. 2017. Natural regeneration is a multi-layered *Pinus sylvestris*-*Picea abies* forest after target diameter harvest and soil scarification. *Forests* 8(2), 35. <https://doi.org/10.3390/f8020035>.
- Egnell, G., Jurevics, A., Peichl, M. 2015. Negative effects of stem and stump harvest and deep soil cultivation on the soil carbon and nitrogen pools are mitigated by enhanced tree growth. *Forest Ecology and Management* 338: 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.006>.
- Ferm, A., Pohtila, E. 1977. Pintakasvillisuuden kehittyminen ja muokkausjäljen tasoittuminen auratuilla metsänuudistusaloilla Lapissa. *Folia Forestalis* 319. 34 s.
- Ferm, A., Sepponen, P. 1981. Aurasjäljen muuttuminen ja kasvillisuuden kehittyminen metsänuudistusaloilla Lapissa 10 vuoden aikana. *Folia Forestalis* 493: 1–19.
- Ferm, A., Hytönen, J., Lilja, S., Jylhä, P. 1994. Effects of weed control on the early growth of *Betula pendula* seedlings established on an agricultural field. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 347–359. <https://doi.org/10.1080/02827589409382851>.
- Finér, L., Mattsson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiaho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola, S., Vuollekoski, M. 2010. A method for calculating nitrogen, phosphorus and sediment load from forest catchments. *The Finnish Environment* No. 10/2010. Finnish Environment Institute. Helsinki. 33 s.
- De Franceschi, J. P., Steele, T. 1987. Labor productivity for manual tree planting in Manitoba. Project C/M-7.2, Economics of Intensive Forest Management, of the Canada-Manitoba Forest Renewal Agreement. A File Report. 22 s.
- Goulet, F. 1995. Frost heaving of forest tree seedlings: a review. *New Forests* 9: 67–94. <https://doi.org/10.1007/BF00028927>.
- Groot, A., Adams, M. 1994. Direct seeding black spruce on peatlands: fifth-year results. *The Forestry Chronicle* vol. 70, no. 5: 585–592.
- Grossnickle, S. C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests* 30: 273–294. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>.
- Grossnickle, S. C. 2018. Seedling establishment on a forest restoration site – An ecophysiological perspective. *Reforesta* 6: 110–139. <https://doi.org/10.21750/REFOR.6.09.62>.
- Grossnickle, S. C., MacDonald, J. E. 2017. Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forests* 49: 1–34. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4>.
- Grönroos, C. 2010. Service management and marketing: Customer management in service competition, 3. painos. John Wiley & Sons, West Sussex. 483 s.

- Haapanen, M., Kärkkäinen, K. 2017. Metsänjalostus. Julkaisussa: Hynynen, J., Huuskonen, S., Kojola, S. (toim.) 2017. METSÄ 150 Metsänkasvatuksen keinot lisätä puuntuotantoa kestävästi ja kannattavasti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 16/2017: 10–15. ISBN: 978-952-326-377-2.
- Haataja, L., Kankaanhuhta, V., Saksa, T. 2018. Reliability of self-control method in the management of non-industrial private forests. *Silva Fennica* vol. 52 no. 1 article id 1665. 24 s. <https://doi.org/10.14214/sf.1665>.
- Haeussler, S., Bedford, L., Boateng, J. O., MacKinnon, A. 1999. Plant community responses to mechanical site preparation in northern interior British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1084–1100. <https://doi.org/10.1139/x99-057>.
- Haeussler, S., Bartemucci, P., Bedford, L. 2004. Succession and resilience in boreal mixedwood plant communities 15–16 years after silvicultural site preparation. *Forest Ecology and Management* 199: 349–370. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.05.052>.
- Hallikainen, V., Hökkä, H., Hyppönen, M., Rautio, P., Valkonen, S. 2019. Natural regeneration after gap cutting in Scots pine stands in northern Finland, *Scandinavian Journal of Forest Research* 34:2, 115–125. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1557248>.
- Hallman, E., Hari, P., Räsänen, P., Smolander, H. 1978. Effect of planting shock on the transpiration, photosynthesis and height increment of Scots pine seedlings. *Acta Forestalia Fennica* 161. 26 s.
- Hallongren, H., Laine, T., Rantala, J., Saarinen, V.-M., Strandström, M., Hämäläinen, J., Poikela, A. 2014. Competitiveness of mechanized tree planting in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29:2, 144–151. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.881542>.
- Hallsby, G. 1994. Growth of planted Norway spruce seedlings in mineral soil and forest organic matter - Plant and soil interactions with implications for site preparation. Swedish University of Agricultural Science, Department of Silviculture. 27 s.
- Hallsby, G., Örländer, G. 2004. A comparison of mounding and inverting to establish Norway spruce on podzolic soils in Sweden. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 77(2): 107–117. <https://doi.org/10.1093/forestry/77.2.107>.
- Hanssen, K., Granhus, A., Brække, F., Haveraaen, O. 2003. Performance of sown and naturally regenerated *Picea abies* seedlings under different scarification and harvesting regimes. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 351–361. <https://doi.org/10.1080/02827580310005973>.
- Hansson, L. J., Ring, R., Franko, M. A., Annemieke, I., Gärdenäs, A. I. 2018. Soil temperature and water content dynamics after disc trenching a sub-xeric Scots pine clearcut in central Sweden. *Geoderma* 327: 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.023>.
- Hautala, H., Jalonen, J., Laaka-Lindberg, S., Vanha-Majamaa, I. 2004. Impacts of retention felling on coarse woody debris (CWD) in mature boreal spruce forests in Finland. *Biodiversity and Conservation* 13: 1541–1554. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000021327.43783.a9>.
- Hautala, H., Laaka-Lindberg, S., Vanha-Majamaa, I. 2009. Effects of retention felling on epixylic species in boreal spruce forests in southern Finland. *Restoration Ecology* 19(3), 418–429. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00545.x>.
- Hawkins, C., Letchford, T., Krasowski, M. 1995. Artificial regeneration of spruce on cold, wet soil: 10 years along. *Water, Air and Soil Pollution* 82: 115–124.
- Hawkins, C. B. D., Steele, T. W., Letchford, T. 2006. The economics of site preparation and the impacts of current forest policy: evidence from central British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 482–494. <https://doi.org/10.1139/x05-262>.
- Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. *Acta Forestalia Fennica* vol. 4, no. 2, article id 7534. <https://doi.org/10.14214/aff.7534>.
- Heineman, J. L., Bedford, L., Sword, D. 1999. Root system development of 12-year-old white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) on a mounded subhygric-mesic site in northern interior British Columbia. *Forest Ecology and Management* 123: 167–177. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00022-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00022-5).

- Heinselman, M. L. 1957. Living Sphagnum found most favorable seedbed for swamp black spruce in Minnesota study. USDA Forest Service, Lake States Forest, Experiment Station. Technical Note. No. 504. 2 s.
- Heino, E., Salakari, M. 1972. TTS-metsä-äes. Metsätehon katsaus 1972/4. 10 s.
- Heiskanen, J. 2011. Maan vesipitoisuus eri mätästysjäljissä kuusen istutusaloilla. *Pro Terra* 52: 57–58.
- Heiskanen, J., Viiri, H. 2001. Mätästys lisää kuusentaimien kasvua ja vähentää tukkimiehintäin tuhoja. *Taimiutiset* 3/2001: 4–6.
- Heiskanen, J., Viiri, H. 2005. Effects of mounding on damage by the European pine weevil in planted Norway spruce seedlings. *Northern Journal of Applied Forestry* 22: 154–161. <https://doi.org/10.1093/njaf/22.3.154>.
- Heiskanen, J., Rikala, R. 2006. Root growth and nutrient uptake of Norway spruce container seedlings planted in mounded boreal forest soil. *Forest Ecology and Management* 222: 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.047>.
- Heiskanen, J., Saksa, T., Luoranen, J. 2013. Soil preparation method affects outplanting success of Norway spruce container seedlings on till soils susceptible to frost heave. *Silva Fennica* vol. 47 no. 1 article id 893. <https://doi.org/10.14214/sf.893>.
- Heiskanen, J., Saksa, T., Hyvönen, J. 2016. Effects of mounding and soil clay content on postplanting success of Norway spruce. *Forest Ecology and Management* 378: 206–213. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.044>.
- Heiskanen, J., Uotila, K., Ruhanen, H. 2018. Effect of wood ash mulch on growth of Scots pine seedlings after transplanting into peat soil: A pilot study. *Journal of Forest Science* 64: 9–16. <http://dx.doi.org/10.17221/83/2017-JFS>.
- Helenius, P., Saarinen, M. 2013. Regeneration result of excavator-mounted rototiller in direct seeding of Scots pine on forestry-drained peatland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28(8): 752–757. <https://doi.org/10.1080/02827581.2013.844849>.
- Helenius, P., Sipilä, K. 2016. Seulakauhasta uusi työkalu metsänuudistamiseen. *Taimiutiset* 3/2016: 10–11.
- Herr, D. G., Duchesne, L.C. 1996. Effect of organic horizon removal, ash, watering regime, and shading on red pine seedling emergence. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 422–427. <https://doi.org/10.1139/x26-047>.
- von Hofsten, H., Petersson, G. 1991. Högläggning med Öje-högen. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Resultat*, 7. 4 s.
- Holmström, E., Ekö, P.M., Hjelm, K., Karlsson, M., Nilsson, U. 2016. Natural Regeneration on Planted Clearcuts—The Easy Way to Mixed Forest? *Open Journal of Forestry* 6: 281–294. <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2016.64023>.
- Holmström, E., Gålnander, H., Petersson, M. 2019. Within-site variation in seedling survival in Norway spruce plantations. *Forests* 181: 1–10. <https://doi.org/10.3390/f10020181>.
- Huitu, O., Rousi, M., Henttonen, H. 2013. Integration of vole management in boreal silvicultural practices. *Pest Management Science* 69: 355–361. <https://doi.org/10.1002/ps.3264>
- Hyppönen, M., Alenius, V., Valkonen, S. 2005. Models for the establishment and height development of naturally regenerated *Pinus sylvestris* in Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20: 347–357. <https://doi.org/10.1080/02827580510036391>.
- Hyppönen, M., Hallikainen, V., Niemelä, J., Rautio, P. 2013. The contradictory role of understory vegetation on the success of Scots pine regeneration. *Silva Fennica* vol. 47 no. 1 article id 903. <https://doi.org/10.14214/sf.903>.
- Hytönen, J., Hökkä, H., Saarinen, M. 2019. The effect of site preparation on seed tree regeneration of drained Scots pine stands in Finland. *Baltic Forestry* 25:1. 9 s.
- Hånell, B. 1992. Skogskörnyelse på högproduktiva torvmarker - plantering av gran på kalhygge och under skärmträd. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Report 34. 71 s.
- Hänninen, H. 2001. Purevatko metsäpolitiikan keinot metsänhoitorästeihin? *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2001: 81–85.

- Hänninen, H., Karppinen, H., Leppänen, J. 2011. Suomalainen metsänomistaja 2010. Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja 208. 94 s. Saatavilla: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp208.pdf>
- Högberg, P., Näsholm, T., Franklin, O., Högberg, M. 2017. Tamm Review: On the nature of the nitrogen limitation to plant growth in Fennoscandian forests. *Forest Ecology and Management* 403: 161–185. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.045>.
- Hökkä, H., Repola, J. 2018. Pienaukkohakkuun uudistumistulos Pohjois-Suomen korpikuusikossa 10 vuoden kuluttua hakkuusta. *Metsätieteen aikakauskirja* 2018/7808: 17 s.
- Hökkä, H., Kaunisto, S., Korhonen, K. T., Päivänen, J., Reinikainen, A., Tomppo, E. 2002. Suomen suometsät 1951–1994. *Metsätieteen aikakauskirja* 2A/2002: 201–357.
- Hökkä, H., Repola, J., Moilanen, M., Saarinen, M. 2012. Seedling establishment on small cutting areas with or without site preparation in a drained spruce mire – a case study in Northern Finland. *Silva Fennica* 46(5): 695–705. <https://doi.org/10.14214/sf.920>.
- Hökkä, H., Repola, J., Moilanen, M., Saarinen, M. 2011. Seedling survival and establishment in small canopy openings in drained spruce mires in Northern Finland. *Silva Fennica* 45(4): 633–645. <https://doi.org/10.14214/sf.97>.
- Hökkä, H., Repola, J., Moilanen, M., Saarinen, M. 2013. Kuusen luontainen taimettuminen ojitettujen korprien muokatuilla ja muokkaamattomilla pienaukoilla ja pienillä avohakkuualoilla – tapaustutkimus Pohjois-Suomesta. *Metsätieteen aikakauskirja* 1: 101–102.
- Hökkä, H., Hytönen, J., Saarinen, M. 2016. The effect of scalping on seedling establishment after seed tree cutting of Scots pine stands in drained peatlands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31(2): 166–174. <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1105285>.
- Ide, J., Finér, L., Laurén, A., Piirainen, S., Launiainen, S. 2013. Effects of clear-cutting on annual and seasonal runoff from a boreal forest catchment in eastern Finland. *Forest ecology and management* 304: 482–491. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.051>.
- Ilvesniemi, H., Hartman, M., Hytönen, J., Lauren, A., Kaila, A., Kantola, M., Kiikkilä, O., Kremsa, J., Kubin, E., Lindgren, M., Lindroos, A.-J., Moilanen, M., Murto, T., Nieminen, M., Nieminen T. N., Penttilä, T., Piispanen, J., Saarsalmi, A., Smolander, A., Tamminen, P., Ukonmaanaho, L. 2012. Energiapuun korjuun vaikutukset metsiin ja vesistöihin. *Metlan työraportteja* 240: 53–82.
- Inward, D. G., Wainhouse, D., Peace, A. 2012. The effect of temperature on the development and life cycle regulation of the pine weevil *Hylobius abietis* and the potential impacts of climate change. *Agriculture and Forest Entomology* 14: 348–357. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2012.00575.x>.
- Jalonen, J., Vanha-Majamaa, I. 1998. Metsänkäsittelyn vaikutus aluskasvillisuuteen – tutkimuksen ja otannan ongelmat. Teoksessa: Annala, E. (toim.) Monimuotoinen metsä. *Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 705: 239 – 253.
- Jarvis, P. G. 1964. Interference by *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. *Oikos* 15: 56–78. <https://doi.org/10.2307/3564748>.
- Johansson, K., Söderbrecht, I., Nilsson, U., Allen, H.L. 2005. Effects of scarification and mulch on establishment and growth of six different clones of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20: 421–430. <https://doi.org/10.1080/02827580500292121>.
- Johansson, K., Nilsson, U., Allen, H. L. 2007. Interactions between soil scarification and Norway spruce seedling types. *New Forest* 33: 13–27. <https://doi.org/10.1007/s11056-006-9010-y>.
- Johansson, K., Nilsson, U., Örländer, G. 2013a. A comparison of long-term effects of scarification methods on the establishment of Norway spruce. *Forestry* 86: 91–98. <https://doi.org/10.1093/forestry/cps062>.
- Johansson, K., Ring, E., Högbohm, L. 2013b. Effects of pre-harvest fertilization and subsequent soil scarification on the growth of planted *Pinus sylvestris* seedlings and ground vegetation after clear-felling. *Silva Fennica* vol. 47 no. 4 article id. 1016. 18 s. <http://dx.doi.org/10.142114/sf.1016>.

- Johansson, K., Hajek, J., Sjölin, O., Normark, E. 2015. Early performance of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* – a comparison between seedling size, species, and geographic location of the planting site. *Scandinavian Journal of Forest Research* 30: 388–400.  
<http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2014.987808>.
- Johansson, M.B. 1994. The influence of soil scarification on the turn-over rate of slash needles and nutrient release. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 170–179.  
<https://doi.org/10.1080/02827589409382828>.
- Johansson, T. 1995. Site index curves for Norway spruce plantations on farmland with different soil types. *Studia Forestalia Suecica* 198. 19 s.
- Juurola, M., Karppinen H. 2003. Sosiaalinen kestävyys ja metsien käyttö. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2003: 129–142.
- Kaila, A., Sarkkola, S., Laurén, A., Ukonmaanaho, L., Koivusalo, H., Xiao, L., O’Driscoll, C., Asam, Z., Tervahauta, A., ja Nieminen, M. 2014. Phosphorus export from drained Scots pine mires after clear-felling and bioenergy harvesting. *Forest Ecology and Management* 325(1): 99–107.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.025>.
- Kaila, S., Liikanen, K. 2004. Taimikon käsittelyn ajoituksen vaikutus työn ajanmenekkiin. *Metsätalon raportti* 170. 15 s.
- Kaila S., Kiljunen N., Miettinen A., Valkonen S. 2006. Effect of precommercial thinning on the consumption of working time in *Picea abies* stands in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 496–504. <http://dx.doi.org/10.1080/02827580601073263>.
- Kankaanhuhta, V. 2014. Quality management of forest regeneration activities. *Dissertationes Forestales* 174. 93 s. <http://dx.doi.org/10.14214/df.174>.
- Kankaanhuhta, V., Saksa, T., Smolander, H. 2009. Variation in the results of Norway spruce planting and Scots pine direct seeding in privately-owned forests in southern Finland. *Silva Fennica* vol. 43 no. 1 article id 217. <https://doi.org/10.14214/sf.217>.
- Kansallinen metsästrategia 2025 – päivitys. 2019. Valtioneuvoston periaatepäätös 21.2.2019. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:7. 118 s.
- Karjalainen, E. 2006. The visual preferences for forest regeneration and field afforestation – four case studies in Finland. *Dissertationes Forestales* 31. 111 s.
- Karlsson, C., Örlander, G. 2000. Soil scarification shortly before rich seed fall improves seedling establishment in seed tree stands of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 256–266. <https://doi.org/10.1080/028275800750015073>.
- Kasanen, M. 2011. Yksityismetsänomistajien valinnat metsänhoidossa 2000-luvun Suomessa. *Acta Universitatis Ouluensis. B* 101. 296 s.
- Kaunisto, S. 1971. Lannoituksen, muokkauksen ja vedenpinnan etäisyyden vaikutus kylvötaimien ensi kehitykseen turvealustalla. *Kasvihuoneessa suoritettu tutkimus. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 75.2. 64 s.
- Kaunisto, S. 1984. Suometsien uudistaminen turvekangasvaiheessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 137: 7–21.
- Kaunisto, S. 1985. Alustavia tuloksia metsän tehoviljelykokeista turvemaidilla. *Folia Forestalia* 619: 1–16.
- Kaunisto, S., Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemaidilla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. *Folia Forestalia* 625: 1–75.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P., Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. *Acta Forestalia Fennica* 193: 1–94.
- Kindvall, O., Nordlander, G., Nordenhem, H. 2000. Movement behaviour of the pine weevil *Hylobius abietis* in relation to soil type: an arena experiment. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 95: 53–61. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2000.00641.x>.
- Kinnunen, K., Mäki-Kojola, S. 1980. Männyn luontaisesta uudistumisesta Pohjois-Satakunnassa. *Folia Forestalia* 449. 18 s.
- Kivimaa, T. 1987. Kuusen uudistaminen. *Teollisuuden Metsäviesti* 3: 18–22.

- Klaminder, J., Lucas, R.W., Futter, M.N., Bishop, K.H., Köhler, S.J., Egnell G., Laudon, H. 2011. Silicate mineral weathering rates estimates: are they precise enough to be useful when predicting the recovery of nutrient pools after harvesting? *Forest Ecology and Management* 261: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.040>.
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Nevalainen, S., Pitkänen, J., Strandström, M., Viiri, H. 2017. Suomen metsät 2009–2013 ja niiden kehitys 1921–2013. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 59/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 86 s.
- Korotaev, A.A. 1992. Bodenverdichtung und Wurzelwachstum der Bäume. *Forstarchiv* 63: 116–119.
- Kubin, E. 1995. Site preparation and leaching of nutrients. *Julkaisussa Ritari ym. (toim.), Northern Silviculture and Management. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 567, 55–62.
- Kubin, E. 1998. Leaching of nitrate nitrogen into the groundwater after clear felling and site preparation. *Boreal Environment Research* 3, 3–8.
- Kubin, E., Kemppainen, L. 1994. Effect of soil preparation of boreal spruce forest on air and soil temperature conditions in forest regeneration areas. *Acta Forestalia Fennica* 244: 1–56. <https://doi.org/10.14214/aff.7506>.
- Kubin, E., Savilampi, P. 1995. Mättäiden koon ja istutuspaikan vaikutus taimettumiseen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 552: 28–41.
- Kuuluvainen, T., Juntunen, P. 1998. Seedling establishment in relation to microhabitat variation in a windthrow gap in a boreal *Pinus sylvestris* forest. *Journal of Vegetation Science* 9: 551–562. <https://doi.org/10.2307/3237271>.
- Kweśna, H., Walkowiak, L., Łakomy, P., Behnke-Borowczyk, J., Gornowicz, R., Mikiciński, A., Gałężka, S., Szewczyk, W. 2015. Effects of silvicultural techniques on the diversity of microorganisms in forest soil and their possible participation in biological control of *Armillaria* and *Heterobasidion*. *Journal of Plant Protection Research* 55: 241–253. <https://doi.org/10.1515/jppr-2015-0034>.
- Kärhä, K. 2012. Comparison of two stump-lifting heads in final felling Norway spruce stand. *Silva Fennica* 46(4): 625–640. <https://doi.org/10.14214/sf.915>.
- Laiho, O., Hovila, K. 1992. Männyn äestysistutus savimaahan Somerolla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 423: 10–18.
- Laine, J., Vanha-Majamaa, I. 1992. Vegetation ecology along a trophic gradient on drained pine mires in southern Finland. *Annales Botanici Fennici* 29: 213–233.
- Laine, T., Rantala, J. 2013. Mechanized tree planting with an excavator-mounted M-Planter planting device. *International Journal of Forest Engineering* 24(3): 183–193. <https://doi.org/10.1080/14942119.2013.844884>.
- Laine, T., Kärhä, K., Hynönen, A. 2016. A survey of the Finnish mechanized tree-planting industry in 2013 and its success factors. *Silva Fennica* vol. 50 no. 2 article id 1323. 14 s. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1323>.
- Laitila, J., Asikainen, A., Hotari, S. 2005. Residue recovery and site preparation in a single operation in regeneration areas. *Biomass and Bioenergy* 28 (2005) 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.08.009>.
- Laitila, J., Ranta, T., Asikainen, A. 2008. Productivity of stump harvesting for fuel. *International Journal of Forest Engineering* 19:2, 37–47. <http://dx.doi.org/10.1080/14942119.2008.10702566>.
- Langvall, O., Nilsson, U., Örländer, G. 2001. Frost damage to planted Norway spruce seedlings – influence of site preparation and seedling type. *Forest Ecology and Management* 141: 223–235. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00331-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00331-5).
- Laudon, H., Hedtjärn, J., Schelker, J., Bishop, K., Sørensen, R., Ågren, A. 2009. Response of Dissolved Organic Carbon following Forest Harvesting in a Boreal Forest. *Ambio* 38(7): 381–386. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-38.7.381>.
- Laurén, A. 1997. Physical properties of the mor layer in a Scots pine stand. III. Thermal conductivity. *Canadian Journal of Soil Science* 77: 643–648.
- Leather, S.R., Day, K.R., Salisbury, A.N. 1999. The biology and ecology of the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae): a problem of dispersal? *Bulletin of Entomological Research* 89: 3–16. <https://doi.org/10.1017/S0007485399000024>.



- Lehtiniemi, T., Sarasto, J. 1973. Kokemuksia rauduksen istutuksesta ojitetuille soille. *Silva Fennica* 7(1): 24–44.
- Lehtosalo, M., Mäkelä, A., Valkonen, S. 2010. Regeneration and tree growth dynamics of *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens* in regeneration areas treated with spot mounding in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25: 213–223. <https://doi.org/10.1080/02827581.2010.489514>.
- Lehtoviita, J., Päivinen, R. 2018. Metsien ekosysteemipalvelujen yhteensovittaminen. Tapion raportteja. Nro 27. 48 s.
- Leinonen, K., Nygren, M., Rita, H. 1993. Temperature control of germination in the seeds of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 107–117.
- Levula, T. 1990. Maanmuokkaus metsän uudistamiseksi. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedoantoja* 350: 71–84.
- Lillrank, P. 2003. The quality of standard, routine and nonroutine processes. *Organization Studies* 24(2): 215–233.
- Lillrank, P. 2010. Service processes. Teoksessa: Salvendy G., Karwowski W. (toim.). 2010. Introduction to service engineering. John Wiley & Sons, New Jersey. 659 s. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470569627>.
- Lindén, M., Lilja-Rothsten, S, Saaristo. L., Keto-Tokoi, P. 2014. (toim.) Metsänhoidon suositukset riistametsänhoitoon, työopas. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 41 s. [https://www.metsanhoitosuositukset.fi/wp-content/uploads/2016/08/Metsanhoidon\\_suositukset\\_riistametsanhoitoon\\_Tapio\\_2014.pdf](https://www.metsanhoitosuositukset.fi/wp-content/uploads/2016/08/Metsanhoidon_suositukset_riistametsanhoitoon_Tapio_2014.pdf)
- Lindroos, A.-J., Brugger, T., Derome, J., Derome, K. 2003. The weathering of mineral soil by natural soil solutions. *Water, Air, and Soil Pollution* 149: 269–279. <https://doi.org/10.1023/A:1025684022819>.
- Lindroos, A.-J., Derome, J., Derome, K. 2007. Open area bulk deposition and stand throughfall in Finland during 2001–2004. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 45: 81–92.
- Lindroos, A.-J., Derome, K., Piispanen, J., Ilvesniemi, H. 2016a. Geochemical changes in podzolic forest soil 17 years after deep tilling. *Boreal Environment Research* 21: 504–512.
- Lindroos, A.-J., Tamminen, P., Heikkinen, J., Ilvesniemi, H. 2016b. Effect of clear-cutting and the amount of logging residue on chemical composition of percolation water in spruce stands on glaciofluvial sandy soils in southern Finland. *Boreal Environment Research* 21: 134–148.
- Lindroos, A.-J., Derome, K., Ilvesniemi, H. 2018. Dissolved organic matter and its role in the soil solution chemistry in relation to organic matter accumulation on the forest floor. *Boreal Environment Research* 23: 59–68.
- Lindström, A., Hellkvist, C. 2003. Miniplantor kan bli något stort. *Plantaktuellt* 1/2003: 1–3.
- Lindström, A., Troeng, E. 1995. Temperature variations in planting mounds during winter. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 507–515. <https://doi.org/10.1139/x95-057>.
- Lindström, A., Hellqvist, C., Gyldberg, B., Långström, B., Mattsson, A. 1986. Field performance of a protective collar against damage by *Hylobius abietis*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 3–15.
- Lundin, L. 1999. Effects on hydrology and surface water chemistry of regeneration cuttings in peatland forests. *International Peat Journal* 9: 118–126.
- Lundmark-Thelin, A., Johansson, M.-B. 1997. Influence of mechanical site preparation on decomposition and nutrient dynamics of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) needle litter and slash needles. *Forest Ecology and Management* 96: 101–110. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00040-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00040-6).
- Luoranen, J., Viiri, H. 2012. Soil preparation reduces pine weevil (*Hylobius abietis* (L.)) damage on both peatland and mineral soil sites one year after planting. *Silva Fennica*, 46: 151–161. <https://doi.org/10.14214/sf.71>.
- Luoranen, J., Viiri, H. 2016. Deep planting decreases risk of drought damage and increases growth of Norway spruce container seedlings. *New Forests* 47(5): 701–714. <https://doi.org/10.1007/s11056-016-9539-3>.

- Luoranen, J., Saksa, T., Finér, L., Tamminen, P. 2007. Metsämaan muokkausopas. Gummerus Kirjapaino Oy. 75 s.
- Luoranen, J., Rikala, R., Smolander, H. 2011. Machine planting of Norway spruce by Bracke and Ecoplanter: an evaluation of soil preparation, planting method and seedling performance. *Silva Fennica* vol. 45 no. 3 article id 107. <https://doi.org/10.14214/sf.107>.
- Luoranen, J., Saksa, T., Uotila, K. 2012. Metsän uudistaminen. Metsäkustannus Oy. Kariston Kirjapaino Oy. 150 s.
- Luoranen, J., Viiri, H., Sianoja, M., Poteri, M., Lappi, J. 2017. Predicting pine weevil risk: Effects of site, planting spot and seedling level factors on weevil feeding and mortality of Norway spruce seedlings. *Forest Ecology and Management* 389: 260–271. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.006>.
- Luoranen, J., Saksa, T., Lappi, J. 2018. Seedling, planting site and weather factors affecting the success of autumn plantings in Norway spruce and Scots pine seedlings. *Forest Ecology Management* 419–420: 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.040>.
- Lähde, E. 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 94.5. 59 s.
- Lähde, E., Manninen, S., Tervonen, M. 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 98.7. 43 s.
- Löf, M., Ryding, D., Bolte, A. 2006. Mounding site preparation for forest restoration: Survival and short-term growth response in *Quercus robur* L. seedlings. *Forest Ecology and Management* 232: 19–25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.003>.
- Macadam, A., Bedford, L. 1998. Mounding in the sub-boreal spruce zone of west-central British Columbia: 8-year results. *The Forestry Chronicle* 74: 421–427.
- Maidell, M., Haltia, E., Valonen, M. 2019. Metsään.fi tavoitekyselyn tulokset. PTT. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/media-aineistot-tavoitekyselyn-tulokset.pdf>. [viitattu 31.5.2019].
- Mannerkoski, H. 1975. Vanhan ojitusalueen uudistaminen mätästysmenetelmällä. Summary: Hummock-building method in reforestation of an old drainage area. *Suo* 26(3–4): 65–68.
- Mannerkoski, H. 1985. Effect of water table fluctuation on the ecology of peat soil. Tiivistelmä: Vedenpinnan vaihtelun vaikutus turvemaan ekologiaan. *Helsingin yliopiston suometsätieteen laitoksen julkaisuja* 7: 1–190.
- Mannerkoski, H., Mälkönen, E. 2000. Soil preparation for forest regeneration. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 790: 147–157.
- Mannerkoski, H., Finér, L., Piirainen, S., Starr, M. 2005. Effects of clear-cutting and site preparation on the level and quality of groundwater in some headwater catchments in eastern Finland. *Forest Ecology and Management* 220: 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.008>.
- Martikainen P. J., Saari A., Maljanen M. 2004. Metsämaan mikrobiologisten prosien immakehällinen merkitys: metaani (CH<sub>4</sub>) ja dityppioksidi (N<sub>2</sub>O). *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 944: 30–40.
- Matilainen, A. 2019. Feelings of psychological ownership towards private forests. Doctoral Dissertation. University of Helsinki. Ruralia Institute. Publications 36. 71 s.
- McMinn, R. G., Grismer, M., Herring, L. J. 1995. Site preparation, stock selection and white spruce performance in western Canada. The Finnish Forest Research Institute. *Research Papers* 567: 63–68.
- Metsiemme katoava aarre. 2018. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <https://www.sll.fi/2018/08/20/metsiemme-katoava-aaarre/>. [viitattu 22.3.2019].
- Metsätilastollinen vuosikirja 2014. Skogsstatistisk årsbok. Finnish Statistical Yearbook of Forestry. Suomen virallinen tilasto: Maa-, metsä- ja kalatalous. 428 s.
- Mjöfors, K. 2015. Effects of site preparation and stump harvest on carbon dynamics in forest soils. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. 66 s.

- Mjöfors, K., Strömgren M., Nohrstedt H.-Ö., Gärdenes A.I. 2015. Impact of site-preparation on soil-surface CO<sub>2</sub> fluxes and litter decomposition in a clear-cut in Sweden. *Silva Fennica* 49: 1–20. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1403>.
- Mjöfors K., Strömgren M., Nohrstedt H.-Ö., Johansson M.-B., Gärdenes A.I. 2017. Indications that site preparation increases forest ecosystem carbon stocks in the long-term. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32: 717–725. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1293152>.
- Moilanen, M., Ferm, A., Issakainen, J. 1995. Kuusen- ja koivuntaimien alkukehitys korven uudistamisaloilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/1995: 115–130.
- Mueller-Dombois, D. 1964. Effect of depth to water table on height growth of tree seedlings in a greenhouse. *Forest Science* 10(3): 306–316.
- Mäki, O. (toim.) 2012. Metsätöitä turvallisesti - työturvallisuusopas omatoimisiin metsätöihin. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 32 s.
- Mäkitalo, K. 1999. Effect of site preparation and reforestation method on survival and height growth of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 512–525. <https://doi.org/10.1080/02827589908540816>.
- Mäkitalo, K. 2009. Soil hydrological properties and conditions, site preparation, and the long-term performance of planted Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on upland forest sites in Finnish Lapland. *Dissertationes Forestales* 80. 71 s.
- Mäkitalo, K., Heiskanen, J. 2001. Männynviljelyn onnistuminen ja siihen vaikuttavat tekijät - tuloksia pitkäaikaisesta metsänviljelykokeesta Lapissa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 803: 71–103.
- Mälkönen, E. 1972. Näkökohtia metsämaan muokkauksesta. *Folia Forestalia* 137. 11 s.
- Mälkönen, E. 1976. Markberedningens ekologi och inverkan på planteringsresultatet. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse* 6: 11–15.
- Mälkönen, E. 2003. Maan kunnostaminen metsän uudistamiseksi. Teoksessa: *Metsämaa ja sen hoito* (toim.) E. Mälkönen. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 159–174.
- Naasz, R., Michel, J.-C., Charpentier, S. 2008. Water repellency of organic growing media related to hysteretic water retention properties. *European Journal of Soil Science*. Vol. 59: 156–165. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00966.x>.
- Nieminen, M. 2003. Effects of clear-cutting and site preparation on water quality from a drained Scots pine mire in southern Finland. *Boreal Environmental research* 8: 53–59.
- Nieminen, M., Koskinen, M., Sarkkola, S., Laurén, A., Kaila, A., Kiikkilä, O., Nieminen, T., Ukonmaanaho, L. 2015. Dissolved organic carbon export from harvested peatland forests with differing site characteristics. *Water, Air, and Soil Pollution* 226 6: 12 s. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2444-0>.
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Laurén, A. 2017. Impacts of forest harvesting on nutrient, sediment and dissolved organic carbon exports from drained peatlands: A literature review, synthesis and suggestions for the future. *Forest Ecology and Management* 392: 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.046>.
- Nilson, M. E., Hjältén, J. 2003. Covering pine seeds immediately after seeding: effects on seedling emergence and on mortality through seed-predation. *Forest Ecology and Management* 176: 449–457. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00308-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00308-0).
- Nilsson, M.-C., Högberg, P., Zackrisson, G., Wang, F. 1993. Allelopathic effects by *Empetrum hermaphroditum* on development and nitrogen uptake by roots and mycorrhizae of *Pinus silvestris*. *Canadian Journal of Botany* 71(4): 620–628. <https://doi.org/10.1139/b93-071>.
- Nilsson, U., Örlander, G. 1995. Effects of regeneration methods on drought damage to newly planted Norway spruce seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 790–802. <https://doi.org/10.1139/x95-086>.
- Nilsson, U., Örlander, G. 1999. Vegetation management on grass-dominated clearcuts planted with Norway spruce in southern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1015–1026. <https://doi.org/10.1139/x99-071>.

- Nilsson, U., Örländer, G. 2003. Response to newly planted Norway spruce seedling to fertilisation, irrigation and herbicide treatments. *Annals of Forest Science* 60: 637–643. <https://doi.org/10.1051/forest:2003056>.
- Nilsson, U., Gemmel, P., Hällgren, J. E. 1996. Competing vegetation effects on initial growth of planted *Picea abies*. *New Zealand Journal of Forest Science* 26: 84–98.
- Nilsson, U., Gemmel, P., Johansson, U., Karlsson, M., Torkel, W. 2002. Natural regeneration of Norway spruce, Scots pine and birch under Norway spruce shelterwoods of varying densities on a mesic-dry site in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 161(1–3): 133–145. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00497-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00497-2).
- Nohrstedt, H.-Ö. 2000. Effects of soil scarification and previous N fertilization on pools of inorganic N in soil after clear-felling of a *P. sylvestris* (L.) stand. *Silva Fennica* 34: 195–204. <https://doi.org/10.14214/sf.625>.
- Nordborg, F. 2001. Effects of site preparation on soil properties and on growth, damage and nitrogen uptake in planted seedlings. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. Doctoral dissertation. *Silvestria* 195. 25 s.
- Nordborg, F., Nilsson, U., Örländer, G. 2003. Effects of different soil treatments on growth and net nitrogen uptake of newly planted *Picea abies* (L.) Karst. Seedlings. *Forest Ecology and Management* 180: 517–582. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00650-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00650-3).
- Nordborg F., Nilsson U., Gemmel P., Örländer G. 2006. Carbon and nitrogen stocks in soil, trees and field vegetation in conifer plantations 10 years after deep soil cultivation and patch scarification. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 356–363. <https://doi.org/10.1080/02827580600976615>.
- Nordlander, G., Bylund, H., Björklund, C. 2005. Soil type and microtopography influencing feeding above and below ground the pine weevil *Hylobius abietis*. *Agricultural and Forest Entomology* 7: 107–113. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9555.2005.00257.x>.
- Nordlander, G., Hellqvist, C., Johansson, K., Nordenhem, H. 2011. Regeneration of European boreal forests: Effectiveness of measures against seedlings mortality caused by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Forest Ecology and Management*. 262: 2354–2363. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.033>.
- Nordlander, G., Mason, E.G., Hjelm, K., Nordenhem, H., Hellqvist, C. 2017. Influence of climate and forest management on damage risk by the pine weevil *Hylobius abietis* in northern Sweden. *Silva Fennica* vol. 51 no. 5 article id 7751. 20 s. <https://doi.org/10.1421/sf.7751>.
- Nygren, M. 2011. Metsäkylvöopas. Kylvön biologiaa ja tekniikkaa. Metsäntutkimuslaitos. Vammalan Kirjapaino. 85 s. ISBN 978-951-40-2338-6.
- Nygren, M., Ikonen, N., Helenius, P. 2013. Siementen itäminen ja taimien orastuminen männyn äeskylvössä – tapaustutkimus. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2013: 127–140.
- Oakland, J. 2003. *Statistical process control*, 5. painos. Butterworth-Heinemann, Oxford. 445 s.
- Oleskog, G. 1999. The effect of seedbed substrate on moisture conditions, germination and seedling survival of Scots pine. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. *Silvestria* 99.
- Oleskog, G., Sahlen, G. 2000. Effect of seedbed substrate on moisture conditions and germination of *Pinus sylvestris* on a clearcut. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 225–236. <https://doi.org/10.1023/A:1006783900412>.
- Oleskog, G., Grip, H., Bergsten, U., Sahlén, K. 2000. Seedling emergence of *Pinus sylvestris* in characterized seedbed substrates under different moisture conditions. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1766–1777.
- Olsson, M., Melkerud, P. A. 2000. Weathering in three podzolized pedons on glacial deposits in northern Sweden and central Finland. *Geoderma* 94: 149–161. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(99\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(99)00081-6).
- Olsson, M., Rosen, K., Melkerud, P.-A. 1993. Regional modelling of base cation losses from Swedish forest soils due to whole-tree harvesting. *Applied Gechemistry* 2: 189–194. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(09\)80035-8](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(09)80035-8).

- den Ouden, J., Vogels, D. 1997. Mechanical resistance by an ectorganic soil layer on root development of seedling *Pinus sylvestris*. *Plant and Soil* 197: 209–217. <https://doi.org/10.1023/A:1004272531005>.
- Palmgren, K. 1984. Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liming. *Folia Forestalia* 603. 27 s.
- Palviainen, M. 2005. Logging residues and ground vegetation in nutrient dynamics of a clear-cut boreal forest. *Dissertationes Forestales* 12, 38 s.
- Palviainen M., Finér L., Kurka A.-M., Mannerkoski H., Piirainen S., Starr M. 2004. Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest. *Plant and Soil* 263: 53–67.
- Palviainen, M., Finér, L., Mannerkoski, H., Piirainen, S., Starr, M. 2005. Responses of ground vegetation species to clear-cutting in a boreal forest - aboveground biomass and nutrient contents during the first seven years. *Ecological Research* 20: 652–660. <https://doi.org/10.1007/s11284-005-0078-1>.
- Palviainen, M., Finér, L., Laurén, A., Mannerkoski, H., Piirainen, S., Starr, M. 2007. Development of ground vegetation biomass and nutrient pools in a clear-cut disc-plowed boreal forest. *Plant and Soil* 297: 43–52. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9317-2>.
- Palviainen, M., Finér, L., Laiho, R., Shorohova, E., Kapitsa, E., Vanha-Majamaa, I. 2010. Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. *Forest Ecology and Management* 259: 390–398. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.034>.
- Palviainen, M., Finér, L., Laurén, A., Launiainen, S., Piirainen, S., Mattsson, T., Starr, M. 2014. Nitrogen, phosphorus, carbon, and suspended solids loads from forest clear-cutting and site preparation: Long-term paired catchment studies from Eastern Finland. *Ambio* 43: 218–233. <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0439-x>.
- Palviainen, M., Finér, L., Laurén, A., Mattsson, T., Högbom, L. 2015. A method to estimate the impact of clear-cutting on nutrient concentrations in boreal headwater streams. *Ambio* 44: 521–531. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0635-y>.
- Peltzer, D.A., Marcy, L.B., Wilson, S.D., Gerry, A.K. 2000. Plant diversity and tree responses following contrasting disturbances in boreal forest. *Forest Ecology and Management* 127: 191–203. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00130-9).
- Pesonen, K. 2019. Siementen peittämisen vaikutus taimien orastumiseen ja työn tuottavuuteen männyn koneellisessa kylvössä. Pro gradu. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Metsätieteiden laitos. 67 s.
- Petersson, M., Örlander, G. 2003. Effectiveness of combinations of shelterwood, scarification, and feeding barriers to reduce pine weevil damage. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 64–73. <https://doi.org/10.1139/x02-156>.
- Petersson, M., Örlander, G., Nordlander, G. 2005. Soil features affecting damage to conifer seedlings by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Forestry* 78: 83–92. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpi008>.
- Piirainen, S. 2002. Nutrient fluxes through a boreal coniferous forest and the effects of clear-cutting. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 859, 50 s.
- Piirainen, S., Finér, L., Mannerkoski, H., Starr, M. 2007. Carbon, nitrogen and phosphorus leaching after site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Forest Ecology and Management* 243: 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.053>.
- Piirainen, S., Finér, L., Mannerkoski, H., Starr, M. 2009. Leaching of cations and sulphate after mechanical site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Geoderma* 149: 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.01.003>.
- Piirainen S., Finér L., Starr M. 2015. Changes in forest floor and mineral soil carbon and nitrogen stocks in a boreal forest after clear-cutting and mechanical site preparation. *European Journal of Soil Science* 66: 735–743. <https://doi.org/10.1111/ejss.12264>.
- Pitkänen, A., Järvinen, E., Turunen, J., Kolström, T., Kouki, J. 2005. Kulituksen ja maan muokkauksen vaikutus männyn siementen itämiseen ja kylvötaimien varhaiseen eloonjääntiin. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2005: 387–397.

- Place, I. C. M. 1955. The influence of seedbed conditions on the regeneration of spruce and balsam fir. Canada Department of Northern Affairs and Natural Resources. Forestry Branch, Bulletin 117. 87 s.
- Pohtila, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 91(4). 12 s.
- Pumpanen, J., Westman C.J., Ilvesniemi H. 2004. Soil CO<sub>2</sub> efflux from podzolic forest soil before and after forest clear-cutting and site preparation. *Boreal Environmental Research* 9: 199–212.
- Rabinowitsch-Jokinen, R., Vanha-Majamaa, I. 2010. Immediate effects of logging, mounding and removal of logging residues and stumps on coarse woody debris in managed boreal Norway spruce stands. *Silva Fennica* 44(1), 51–61. <https://doi.org/10.14214/sf.162>.
- Rabinowitsch-Jokinen, R., Laaka-Lindberg, S., Vanha-Majamaa, I. 2012. Immediate effects of logging, mounding and removal of logging residues on epixylic species in managed boreal Norway spruce stands in Southern Finland. *Journal of Sustainable Forestry* 31: 205–229. <https://doi.org/10.1080/10549811.2011.582825>.
- Rahman, A., Viiri, H., Tikkanen, O.-P. 2018. Is stump removal for bioenergy production effective in reducing pine weevil (*Hyllobius abietis*) and *Hylastes* spp. breeding and feeding activities at regeneration sites? *Forest Ecology and Management* 424: 184–190. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.003>.
- Rantala, J., Saarinen, V.-M., Hallongren, H. 2010. Quality, productivity and costs of spot mounding after slash and stump removal, *Scandinavian Journal of Forest Research* 25:6, 507–514. <https://doi.org/10.1080/02827581.2010.522591>.
- Raulo, J., Mälkönen, E. 1976. Koivun luontainen uudistuminen muokatulla kangasmaalla. *Folia Forestalia* 252. 15 s.
- Raulo, J., Rikala, R. 1981. Istutettujen männyn, kuusen ja rauduskoivun taimien alkukehitys eri tavoin käsitellyillä viljelyalalla. *Folia Forestalia* 462. 13 s.
- Rautiainen, E., Kubin, E. 1997. Männyn paakku-taimien juuriston rakenne eri tavoin muokatussa metsämaassa Pohjois-Suomessa. *Metsätieteenaikakauskirja* 1/1997: 5–24.
- Redfern, D.B. 1984. Factors affecting spread of *Heterobasidion annossum* in plantations. Teoksessa: Kile G.A. (toim.). *Proceedings of the 6th Int. Conf. On root and butt rots of forest trees.* Melbourne, Victoria and Gympie, Queensland, Australia, August 1983. CSIRO, Melbourne, Australia, s. 104–114.
- Reinikainen, A. 2000. *Rubus idaeus*, vadelma. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I., Hotanen, J.-P. (toim.) 2000. *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa.* Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki. s. 124–125.
- Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I., Hotanen, J.-P. (toim.) 2000. *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa.* Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki. 384 s.
- Repo, R., Valtanen, J. 1994. Maan ominaisuudet metsänviljelyssä – mätästyksen perusteet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 520. 52 s.
- Rikala, R. 2006. *Metsätaimiopas.* Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 881. 2. Painos. 106 s. ISBN 951-40-2013-8.
- Ring, E., Hogbom, L., Jansson, G. 2013. Effects of previous nitrogen fertilization on soil-solution chemistry after final felling and soil scarification at two nitrogen-limited forest sites *Canadian Journal of Forest Research* 43(4): 396–404. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0380>.
- Ring, E., Högbom, L., Jacobson, S., Jansson, G., Nohrstedt H.-Ö. 2018. Long-term effects on soil-water nitrogen and pH of clearcutting and simulated disc trenching of previously nitrogen-fertilised pine plots. *Canadian Journal of Forest Research* 48: 1115–1123. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0042>.
- Ring, E., Andersson, E., Armolaitis, K., Eklöf, K., Finér, L., Gil, W., Glazko, Z., Janek, M., Libiete, Z., Lode, E., Małek, S., Piirainen, S. 2019. Hyvät käytännöt suojavyyhykkeiden muodostamiseen vesistöjen varsille Itämeren alueella – Käsikirja. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 10/2019: 23 s.

- Ritari, A. 1995. Effect of site preparation on seedling performance in a *Hylocomium myrtillus* stand. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 47–53.
- Ritari, A., Lähde, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 92.7. 37 s.
- Roturier, S., Bergsten, U. 2006. Influence of soil scarification on reindeer foraging and damage to planted *Pinus sylvestris* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 209–220. <https://doi.org/10.1080/02827580600759441>.
- Rummukainen, A., Tervo, L., Kautto, K., Pulkkinen, M. 2011. Maanmuokkaus- ja kylvölaiteyhdistelmien vertailuja männyn kylvössä Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2011: 13–33.
- Ruosteenoja, K., Markkanen, T., Venäläinen, A., Räisänen, P., Peltola, H. 2018. Seasonal soil moisture and drought occurrence in Europe in CMIP5 projections for the 21st century. *Climate Dynamics* 50: 1177–1192. <http://doi.org/10.1007/s00382-017-3671-4>.
- Rusanen, K., Finér, L., Antikainen, M., Korkka-Niemi, K., Backman, B., Britschgi, R. 2004. The effects of forest cutting on the quality of groundwater in large aquifers in Finland. *Boreal Environment Research* 9: 253–261.
- Rönneberg, J., Vollbrecht, G. 1999. Early infection by *Heterobasidion annosum* in *Larix eurolepis* seedlings planted on infested sites. *European Journal of Forest Pathology* 29(1): 81–86. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.1999.00134.x>.
- Saari, A., Smolander, A., Martikainen, P. J. 2004. Methane consumption in a frequently nitrogen-fertilized and limed spruce forest soil after clear-cutting. *Soil Use and Management* 20: 65–73. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2004.tb00338.x>.
- Saarinen, M. 2002. Kasvillisuuden ja maanmuokkauksen vaikutus männyn ja koivun taimettumiseen varpu- ja puolukkaturvekankailla. *Suo* 53(2): 41–60.
- Saarinen, M. 2013. Männyn kylvö ja luontainen taimettuminen vanhoilla ojitusalueilla - turvemaiden uudistamisen erityispiirteitä. *Dissertationes Forestales* 164. 64 s. <https://doi.org/10.14214/df.164>.
- Saarinen, M., Hotanen, J.-P. 2000. Raakahumuksen ja kasvillisuuden yhteisvaihtelu Pohjois-Hämeen vanhoilla ojitusalueilla. *Suo* 51(4): 227–242.
- Saarinen, M., Hotanen, J.-P., Alenius, V. 2009. Muokkausjälkien kasvillisuuden kehittyminen ojitettujen soiden metsänuudistamisaloilla. *Suo* 60(3-4): 85–109.
- Saarinen, M., Alenius, V., Laiho, R. 2013. Kosteusolosuhteiden vaikutus siementen itämiseen ja taimien varhaiskehitykseen turvemaan metsänuudistusalan muokkauspinnoilla. *Suo* 64(2-3): 51–75.
- Saarinen, V.-M. 2006. The effects of slash and stump removal on productivity and quality of forest regeneration operations—preliminary results. *Biomass and Bioenergy* 30, 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.07.014>.
- Saksa, T. 2011. Kuusen istutustaimien menestyminen ja tukkimiehintäin tuhot eri tavoin muokatuilla uudistusaloilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2011: 91–105.
- Saksa, T., Kankaanhuhta, V. 2007. Metsänuudistamisen laatu ja keskeisimmät kehittämiskohteet Etelä-Suomessa. *Metsänuudistamisen laadunhallinta-hankkeen loppuraportti*. Gummerrus Kirjapaino Oy. 90 s.
- Saksa, T., Nerg, J., Tuovinen, J. 1990. Havupuutaimikoiden tila 3–8 vuoden kuluttua istutuksesta tuoreilla kankailla Pohjois-Savossa. *Folia Forestalia* 753. 30 s.
- Saksa, T., Heiskanen, J., Miina, J., Tuomola, J., Kolström, T. 2005. Multilevel modelling of height growth in young Norway spruce plantations in southern Finland. *Silva Fennica* 39: 143–153. <https://doi.org/10.14214/sf.403>.
- Saksa, T., Miina, J., Haatainen, H., Kärkkäinen, K. 2018. Quality of spot mounding performed by continuously advancing mounds. *Silva Fennica* vol. 52 no. 2 article id 9933. 13 s. <https://doi.org/10.14214/sf.9933>.

- Salemaa, M. 2000a. *Vaccinium myrtillus*. Mustikka. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I., Hotanen, J.-P. (toim.) 2000. Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki. s. 128–130.
- Salemaa, M. 2000b. *Vaccinium vitis-idaea*, puolukka. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I., Hotanen, J.-P. (toim.) 2000. Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki. s. 136–138.
- Salonius, P. O. 1983. Effects of organic-mineral soil mixtures and increasing temperature on the respiration of coniferous raw humus material. *Canadian Journal of Forest Research* 13: 102–107. <https://doi.org/10.1139/x83-015>.
- Sarasto, J., Seppälä, K. 1964. Männyn kylvöistä ojitettujen soiden sammal- ja jäkäläkasvustoihin. *Suo* 15(3): 54–58.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Koivusalo, H., Nieminen, M., Ahti, E., Päivänen, J., Laine, J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 1485–1496. <https://doi.org/10.1139/X10-084>.
- Schelker, J., Eklöf, K., Bishop, K., Laudon, H. 2012. Effects of forestry operations on dissolved organic carbon concentrations and export in boreal first-order streams. *Journal of Geophysical Research*, 117, G01011. <https://doi.org/10.1029/2011JG001827>.
- Schildt, J. 2000. Mätästys ja istutus ovat kuusen uudistamisessa ylivoimainen yhdistelmä. *UPM Metsä* 5/2000: 10–11.
- Seuna, P. 1990. Metsätalouden toimenpiteet hydrologisina vaikuttajina. *Vesitalous* 31: 38–41.
- Siipilehto, J., Valkonen, S., Päätaalo, M.-L. 2015. Männyn- ja kuusentaimiten kehitys erilaisia metsänuudistamisketjuja käytettäessä. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2015: 5–21.
- Sikström, U., Hjelm, K., Hansen K.H., Saksa, T., Wallertz, K. käsikirjoitus. Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in Fennoscandia – a review.
- Silvennoinen, H. 2017. Metsämaiseman kauneus ja metsänhoidon vaikutus koettuun maisemaan metsikkötasolla. *Dissertationes Forestales* 242. 86 p. <https://doi.org/10.14214/df.242>.
- Silvennoinen, H., Alho, J., Kolehmainen, O., Pukkala, T. 2001. Prediction models of landscape preferences at the forest stand level. *Landscape and Urban Planning* 56(1–2): 11–20. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00163-3](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00163-3).
- Silvennoinen, H., Pukkala, T., Tahvanainen, L. 2002. Effect of cuttings on the scenic beauty of a tree stand. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17: 263–273. <https://doi.org/10.1080/028275802753742936>.
- Sirén, M., Salmivaara, A., Ala-Illomäki, J., Launiainen, S., Lindeman, H., Uusitalo, J., Sutinen, R., Hänninen, P. 2019. Predicting forwarder rut formation on fine-grained mineral soils. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34:2, 145–154. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1562567>.
- Smolander, A., Heiskanen, J. 2007. Soil N and C transformations in two forest clear-cuts during three years after mounding and inverting. *Canadian Journal of Soil Science* 87: 251–258. <https://doi.org/10.4141/S06-028>.
- Smolander, A., Kukkola, M., Helmisaari, H.-S., Mäkipää, R., Mälkönen, E. 2000a. Functioning of forest ecosystems under nitrogen loading. Teoksessa: Mälkönen, E. (toim.). *Forest condition in a changing environment – the Finnish case*. Forestry Sciences, Vol. 65. Kluwer Academic Publishers. s. 229–247.
- Smolander, A., Paavolainen, L., Mälkönen, E. 2000b. C and N transformations in forest soil after mounding for regeneration. *Forest Ecology and Management* 134: 17–28. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00242-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00242-X).
- Starr, M., Lindroos, A.-J. 2006. Changes in the rate of release of Ca and Mg and normative mineralogy due to weathering along a 5300-year chronosequence of boreal forest soils. *Geoderma* 133: 269–280. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.07.013>.
- Starr, M., Lindroos, A.-J., Tarvainen, T., Tanskanen, H. 1998. Weathering rates in the Hietajärvi Integrated Monitoring catchment. *Boreal Environment Research* 3: 275–285.



- Starr, M., Lindroos, A.-J., Ukonmaanaho, L. 2014. Weathering release rates of base cations from soils within a boreal forested catchment: variation and comparison to deposition, litterfall and leaching fluxes. *Environmental Earth Sciences* 72(12): 5101–5111. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3381-8>.
- Strandström, M., Poikela, A. 2016. Metsäalan työvoimatarve – Savotta 2025. Metsätehon tuloskalvosarja 15/2016. 20 s. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/metsaalan-tyovoimatarve-savotta-2025/>. [viitattu 18.3.2019].
- Strömngren, M., Mjöfors, K. 2012. Soil-CO<sub>2</sub> flux after patch scarification, harrowing and stump harvest in a hemi-boreal forest. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27: 754–761. <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.723741>.
- Strömngren, M., Hedwall, P.-O., Olsson, B. A. 2016. Effects of stump harvest on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from boreal forest soils after clear-cutting. *Forest Ecology and Management* 371: 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.019>.
- Strömngren, M., Mjöfors, K., Olsson, B. A. 2017. Soil-surface CO<sub>2</sub> flux during the first 2 years after stump harvesting and site preparation in 14 Swedish forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32: 213–221. <https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1221993>.
- Suomen FSC-yhdistys. 2011. Suomen FSC standardi. FSC standard for Finland V1-1 Approved 21.01.2011 FIN. Saatavissa: <https://fi.fsc.org/preview.suomen-fsc-standardi.a-142.pdf>. [viitattu 17.4.2019].
- Suomen virallinen tilasto (SVT) 2018: Metsävarat. Helsinki: Luonnonvarakeskus. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <https://stat.luke.fi/metsavarat>. [viitattu: 20.6.2019].
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2019a: Metsänhoito- ja metsänparannustyöt. Helsinki: Luonnonvarakeskus. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://stat.luke.fi/metsanhoito-ja-metsanparannustyot>. [viitattu: 30.8.2019].
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2019b. Ansiotasoindeksi. ISSN=1796-3737. 4. Vuosineljännes 2018. Helsinki: Tilastokeskus. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ati/2018/04/ati\\_2018\\_04\\_2019-02-06\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ati/2018/04/ati_2018_04_2019-02-06_tie_001_fi.html). [viitattu: 26.4.2019].
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2019c. Kuluttajahintaindeksi ISSN=1796-3524. Helsinki: Tilastokeskus. [verkkojulkaisu]. Saatavilla: <http://www.stat.fi/til/khi/2019/03/>. [viitattu: 9.5.2019].
- Sutton, R. F. 1993. Mounding site preparation: a review of European and North American experience. *New Forest* 7: 151–192. <https://doi.org/10.1007/BF00034198>.
- von Sydow, F. 1997. Abundance of pine weevils (*Hylobius abietis*) and damage to conifer seedlings in relation to silvicultural practices. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12: 157–167. <https://doi.org/10.1080/02827589709355397>.
- Szajdak, L., Szatyłowicz, J. 2010. Impact of drainage on hydrophobicity of fen peat-peat-morsh soils. Teoksessa: Kļavinš (toim.) Mires and peat. University of Latvia Press. Riga. 158–174.
- Söderström, V. 1976a. Markvärme - en minimifaktor vid plantering. *Skogsarbeten Redogörelse* 6: 16–22.
- Söderström, V. 1976b. Analys av markberedningseffekterna vid plantering på några färska hyggen. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 2–3: 59–333.
- Söderström, V. 1977. Problem och metoder i skogsförnyngsarbetet. IV. Försök med markberedningsmetoder. *Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 116: 43–58.
- Tamminen, P., Starr, M. 1994. Bulk density of forested mineral soils. *Silva Fennica* 28: 53–60. <https://doi.org/10.14214/sf.a9162>.
- Tanskanen, N. 2006. Aluminium chemistry in ploughed podzolic forest soils. *Dissertationes Forestales* 15. <https://doi.org/10.14214/df.15>.
- Tanskanen, N., Ilvesniemi, H. 2004. The amount of secondary Al in two ploughed podzolic forest soils. *Geoderma* 119: 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.08.003>.
- Tanskanen, N., Kareinen, T., Nissinen, A., Ilvesniemi, H. 2004. Soil solution aluminium in disturbed and undisturbed podzolic profiles at two tilt-ploughed forest sites. *Boreal Environment Research* 9: 347–355.

- Teivainen, T., Jukola-Sulonen, E.-L., Mäenpää, E. 1986. Pintakasvillisuuden kemiallisen torjunnan vaikutus peltomyyräpopulaation kehitykseen. *Folia Forestalia* 651. 19 s.
- Thiffoult, N., Jobidon, R., Munson, A.D. 2003. Performance and physiology of large containerized and bare-root spruce seedlings in relation to scarification and competition in Québec (Canada). *Annals of Forest Science* 60: 645–655. <https://doi.org/10.1051/forest:2003057>.
- Thorsén, Å., Mattsson, S., Weslien, J. 2001. Influence of stem diameter on the survival and growth of containerized Norway spruce seedlings attacked by pine weevils (*Hyllobius* spp.). *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 54–66. <https://doi.org/10.1080/028275801300004415>.
- Tiainen, J., Vartiainen, J. 2018. Risute ASTA –dokumentointijärjestelmä. Opinnäytetyö, Metsätalouden koulutusohjelma, Karelia ammattikorkeakoulu. 37 s.
- Tolvanen, A. 1994. Differences in recovery between deciduous and evergreen ericaceous clonal shrubs after simulated aboveground herbivory and belowground damage. *Canadian Journal of Botany* 72: 853–859. <https://doi.org/10.1139/b94-110>.
- Tonteri, T., Salemaa, M., Rautio, P., Hallikainen, V., Korpela, L., Merilä, P. 2016. Forest management regulates temporal change in the cover of boreal plant species. *Forest Ecology and Management* 381: 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.015>.
- Tyrväinen, L., Silvennoinen, H., Hallikainen, V. 2016. Effects of the season and forest management on the visual quality of the nature-based tourism environment: a case from Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32(4): 349–359. <https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1241892>.
- Uotila, K., Rantala, J., Saksa, T., Harstela, P. 2010. Effect of soil preparation method on economic result of Norway spruce regeneration chain. *Silva Fennica* vol. 44 no. 3 article id 146. <https://doi.org/10.14214/sf.146>.
- Uotila, K., Saksa, T., Rantala, J., Kiljunen, N. 2014. Labour consumption models applied to motor-manual pre-commercial thinning in Finland. *Silva Fennica* vol. 48 no. 2 article id 982. 14 s. <https://doi.org/10.14214/sf.982>.
- Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Aun, K., Krasnova, A., Morozov, G., Ostonen, I., Mander, Ü., Lõhmus, K., Rosenthal, K., Kriiska, K., Soosaar, K. 2019. The carbon balance of a six-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) ecosystem estimated by different methods. *Forest Ecology and Management* 433: 248–262. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.012>.
- Uusitalo J. 2003. Metsäteknologian perusteet. Metsälehti Kustannus. Karisto Oy. 230 s.
- Uusitalo J., Salomäki M., Ala-Ilomäki J. 2015. Variation of the factors affecting soil bearing capacity of ditched pine bogs in Southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 30: 429–439. <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2015.1012110>.
- Vaartaja, O. 1950. On factors affecting the initial development of pine. *Oikos* 2(1): 89–108.
- Vaartaja, O. 1954. Temperature and evaporation at and near ground level on certain forest sites. *Canadian Journal of Botany*, 32: 760–783.
- Vaartaja, O. 1955. Factors causing mortality of tree seeds and succulent seedlings. *Acta Forestalia Fennica* 62(3): 1–31.
- Valkonen, S., Maguire, D. A. 2005. Relationship between seedbed properties and the emergence of spruce germinants in recently cut Norway spruce selection stands in Southern Finland. *Forest Ecology and Management* 210: 255–266. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.039>.
- Valtanen, J., Tasanen, T. 1996. Männyn viljelytavan valinta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 608. 88 s.
- Vanha-Majamaa, I. 1998. Tulen vaikutus taimettumiseen, aluskasvillisuuden sukkessioon ja sienilajistoon. Teoksessa: Annala, E. (toim.) Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 705: 239–253.
- Vanha-Majamaa, I., Reinikainen, A. 2000. Muuttuvan maankäytön vaikutus kasvillisuuteen. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I., Hotanen, J.-P. (toim.) 2000. Kasvit muuttuvassa metsäluonnon. Tammi, Helsinki.

- Vanha-Majamaa, I., Jalonen, J. 2001. Green tree retention in fennoscandian forestry. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 79–90. <https://doi.org/10.1080/028275801300004433>.
- Vanha-Majamaa, I., Shorohova, E., Kushnevskaia, H., Jalonen, J. 2017. Resilience of understory vegetation after variable retention felling in boreal Norway spruce forests – a ten-year perspective. *Forest Ecology and Management* 393: 12–28. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.040>.
- Vapaavuori, E. M., Rikala, R., Ryyppö, A. 1992. Effects of root temperature on growth and photosynthesis in conifer seedlings during shoot elongation. *Tree Physiology* 10: 217–230. <https://doi.org/10.1093/treephys/10.3.217>
- Vargo, S., Lusch, R. 2008. Service-dominant logic: continuing the evolution. *Journal of the Academy of Marketing Science* 36: 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11747-007-0069-6>.
- Vasaitis, R., Stenlid, J., Thomsen, I. M., Barklund, P., Dahlberg, A. 2008. Stump removal to control root rot in forest stands. A literature study. *Silva Fennica* 42: 457–483. <https://doi.org/10.14214/sf.249>.
- Viiri, H., Tuomainen, A., Tervo, L. 2007. Persistence of deltamethrin against *Hylobius abietis* on Norway spruce seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22: 128–135. <https://doi.org/10.1080/02827580701224113>.
- Wainhouse, D., Staley, J. T., Jinks, R., Morgan, G. 2009. Growth and defence in young pine and spruce and expression of resistance to a stem-feeding weevil. *Oecologia* 158: 641–650.
- Wallertz, C., Björklund, N., Hjelm, K., Petersson, M., Sundblad L.-G. 2018. Comparison of different site preparation techniques: quality of planting spots, seedling growth and pine weevil damage. *New Forests* 49(6): 705–722. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9634-8>.
- Wennström, U., Bergsten, U., Nilsson, J.-E. 1999. Mechanized microsite preparation and direct seeding of *Pinus sylvestris* in boreal forest - a way to create desired spacing at low cost. *New Forests* 18: 179–198. <https://doi.org/10.1023/A:1006506431344>.
- Winsa, H. 1995. Effect of seed properties and environment on seedling emergence and early establishment of *Pinus sylvestris* (L.) after direct seeding. *Doktorsavhandling. Institutionen för skogsskötsel, SLU*.
- Wood, J. E., Jeglum, J. K. 1984. Black spruce regeneration trials near Nipigon, Ontario: Planting versus seeding, lowlands versus upland, clearcut versus stripcut. *Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario, Information Report O-X-361*. 19 s.
- Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R. ja Hutterman, A. (toim.). 1998. *Heterobasidion annosum. Biology, Ecology, Impact and Control*. Wallingford, UK: CAB International, 1998. 589 s.
- Yli-Vakkuri, P. 1956. *Metsänviljely. Metsäkäsikirja 1*. Kustannusosakeyhtiö Kivi, Helsinki. s. 565–579.
- Youngblood, A., Cole, E., Newton, M. 2011. Survival and growth response of white spruce stock types to site preparation in Alaska. *Canadian Journal of Forest Research* 41(4): 793–809. <https://doi.org/10.1139/X11-001>.
- Zackrisson, O., Nilsson, M.-C. 1992. Allelopathic effects by *Empetrum hermaphroditum* on seed germination of two boreal tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 22(9): 1310–1319. <https://doi.org/10.1139/x92-174>.
- Zeithaml, V., Bitner, M., Gremler, D. 2009. *Services marketing. Integrating customer focus across the firm*, 5th international ed. McGraw- Hill, Irwin. 708 s.
- Zisa, R. P., Halverson, H. G., Stout, B.B. 1980. Establishment and early growth of conifers on compact soils in urban areas. *USDA, Forest Service, Northeast Forest Experiment Station. Research Paper NE-451*. 8 s.
- Örlander, G. 1985. *Plantetablering - en fråga om vattenupptagning*. Sver. Lantbruksuniv. Skogsfakta 28. 4 s.
- Örlander, G. 1986. Effect of planting and scarification on the water relations in planted seedlings of Scots pine. *Studia Forestalia Suecica* 173. 17 s.
- Örlander, G. 1995. Effects of site preparation on the development of planted seedlings in northern Sweden. *The Finnish Forest Research Institute. Research Papers* 567: 39–45.
- Örlander, G. 1997. *Inversmetoden - framtidens markberedning? Fakta Skog* 8: 4 s.

- Örlander, G., Nilsson, U. 1999. Effect of reforestation methods on pine weevil (*Hylobius abietis*) damage and seedling survival. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 341–354. <https://doi.org/10.1080/02827589950152665>.
- Örlander, G., Nordlander, G. 2003. Effects of field vegetation control on pine weevil (*Hylobius abietis*) damage to newly planted Norway spruce seedlings. *Annals of Forest Science* 60: 667–671. <https://doi.org/10.1051/forest:2003059>.
- Örlander, G., Wallertz, K. 2007. Asa-mockan. Rapporter nr 4, Sveriges Lantbruksuniversitet, Asa försöksspark. 24 s.
- Örlander, G., Gemmel, P., Hunt, J. 1990. Site preparation: a Swedish overview. FRDA Report 105. Forestry Canada and B. C. Ministry of Forests. ISSN 0835-0752.
- Örlander, G., Gemmel, P., Wilhelmsson, C. 1991. Effects of scarification, planting depth and planting spot on seedling establishment in a low humidity area in southern Sweden. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsskötsel 33. 92 s.
- Örlander, G., Egnell, G., Albrektson, A. 1996. Long-term effects of site preparation on growth in Scots pine. *Forest Ecology and Management* 86: 27–37. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03797-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03797-8).
- Örlander, G., Hallsby, G., Gemmel, P., Wilhelmsson, C. 1998. Inverting improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies* - 10-year results from a site preparation trial in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 160–168. <https://doi.org/10.1080/02827589809382972>.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K., Väisänen, P. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja. 252 s. Saatavissa: [https://www.metsanhoitosuosituksset.fi/wp-content/uploads/2019/08/Metsanhoidon\\_suosituksset\\_Tapio\\_2019\\_verkko\\_1.1.pdf](https://www.metsanhoitosuosituksset.fi/wp-content/uploads/2019/08/Metsanhoidon_suosituksset_Tapio_2019_verkko_1.1.pdf)



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Latokartanonkaari 9  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000